



ICONIL 2025 SPRING

4Th
**INTERNATIONAL CONGRESS OF NEW
SEARCHES IN MULTIDISCIPLINARY STUDIES**

SCIENCES PROCEEDINGS BOOK

JUNE 14-15, 2025 İSTANBUL / TÜRKİYE

www.iconil.com





ICONIL 2025 SPRING

INTERNATIONAL CONGRESS OF NEW SEARCHES IN
MULTIDISCIPLINARY STUDIES
SCIENCES PROCEEDINGS BOOK

JUNE 14-15, 2025

GÜNGÖREN BELEDİYESİ ALT+TAB KULUÇKA MERKEZİ GÜNGÖREN
İSTANBUL / TÜRKİYE

www.iconil.com

info@iconil.com

ISBN: 978-625-95551-5-7

EDITORS

- Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR, Atatürk University
- Lecturer Dr. Mustafa OF, Kocaeli University
- Lecturer İsmail KILIÇASLAN, Kocaeli University
- Lecturer Kazım KAHRAMAN, Kocaeli University

All Rights Reserved

All Responsibilities of The Articles Belong to The Authors

SUPPORTERS



Atatürk University, Türkiye



Atatürk University Climate Change
Coordination Office, Türkiye



Aleksandër Moisiu University, Albania



Universitas Airlangga, Indonesia



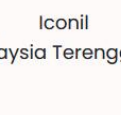
Universiteti Bujqësor i Tiranës - UBT,
Albania



University of Burundi, Burundi



University of Prishtina "Hasan Prishtina",
Kosovo



Iconil
University Malaysia Terengganu, Malaysia



University of Mumbai, India



Shibaura Institute of Technology, Japan



Uzhhorod National University, Ukraine

Dear participants,

ICONIL 2025 SPRING Congress is an internationally recognized academic event. With this congress, where face-to-face and remote participation is supported, you will have the opportunity to present your scientific publications. Our congress, which is attended by respected names in the scientific community, is a candidate congress to bring new horizons to science.

From 8 countries 101 participants applied to the congress. Participants presented their papers for two days in the congress.

We are also grateful to the esteemed participants, our keynote speakers, our referees for their support and contributions to the success of this congress. Thank you for attending our academic event and supporting us.

The ICONIL congress will be held every year by raising its target higher. It will reach out to wider communities and increase the number of papers and participants.

Any kind of feedback about the congress is very important to us. You can reach our congress from our web page, info@iconil.com e-mail address and official social media accounts.

ICONIL ORGANIZING COMMITTEE

03.07.2025

KEYNOTE SPEAKERS**Prof. Dr. Flora Merko**

Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania

**Prof. Dr. Jamaiah Yahaya**Universiti Kebangsaan Malaysia Qatar (UKM
Qatar), Qatar**Prof. Dr. Nizigiyamana Desire Louis**

University of Burundi, Burundi

**Dr. Ahmad Ali**

University of Mumbai, India

**Dr. Isma Rosila Ismail**

Universiti Malaysia Terengganu, Malaysia

**Dr. Daniel Honc**

Pardubice University, Czechia

SCIENCE COMMITTEE*Listed in alphabetical order*

- Prof. Dr. Ahmet Duran Şahin, İstanbul Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Ayşe Günsel, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Engin Özdemir, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Fatma Çanka Kılıç, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Flora Merko, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- Prof. Dr. Hanefi Bayraktar, Atatürk University, Türkiye
- Prof. Hiroyuki Ishizaki, Shibaura Institute of Technology, Japan
- Prof. Dr. Hristo Ivanov Katrandzhiev, University of National and World Economy, Bulgaria
- Prof. Dr. Hüseyin Toros, İstanbul Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Hysen Mankolli, Editor of IJEES, Health and Environment Association, U.S.A.
- Prof. Dr. Juan Carlos, Roca University Of Huelva, Spain
- Prof. Dr. Kadri Süleyman Yiğit, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Maan T. J. Maarroof, Mousul University, Iraq
- Prof. Dr. Mehmet Demirtaş, Bitlis Eren University, Türkiye
- Prof. Dr. Nardane Yusifova, Azerbaijan National Academy of Sciences, Azerbaijan
- Prof. Dr. Novo Palakalovic, University of East Sarajevo, Bosnia
- Prof. Dr. Olena Demyanyuk, Institute of Agroecology and Environmental Management, Kyiv, Ukraine
- Prof. Dr. Osman Taylan, King Abdulaziz University, Saudi Arabia
- Prof. Dr. Şükrü Dursun, Konya Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Tamara Milenkovic Kerkovic, University of Nis, Serbia
- Assoc. Prof. Dr. Ayşenur Kayabaş Avşar, Çankırı Karatekin University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Arben Kambo, Agriculture University of Tirana, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Ayşegül Türk, Ankara Hacı Bayram Veli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Azeta Tartaraj, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Brunela Trebicka, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Eda Bezhani, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt, Atatürk University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Edmond Hoxha, Polytechnic University Of Tirana, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Emira Kalaj, University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Albania
- Assoc. Prof. Dr. Etleva Dashi, Agriculture University of Tirana, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Ercan Arpaz, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Lyudmyla Symochko, Uzhhorod National University, Ukraine
- Assoc. Prof. Dr. Mehboob Nagarbawdi, Affiliated to University of Mumbai, India
- Assoc. Prof. Dr. Muhammet Fatih Genç, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Nagip Skenderi, University of Prishtina, Kosovo
- Assoc. Prof. Dr. Natalya Gudkova, The State Ecological Academy, Ukraine
- Assoc. Prof. Dr. Petr Dolezel, Pardubice University, Czechia
- Assoc. Prof. Dr. Taner Erdoğan, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Ylber Aliu, AAB College, Kosovo
- Assoc. Prof. Dr. Samad Rahimi Aghdam, Tabriz University, Iran
- Assoc. Prof. Dr. Selda Uca, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Mazin Nazar Fadhel, Mosul university, Musul, Iraq
- Assist. Prof. Dr. Berna Kavaz Kındıgılı, Atatürk University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Fatih Sevgi, Selçuk University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Handan Özçelik Bozkurt, Sinop University, Türkiye

- Assist. Prof. Dr. Larissa Shragina, Odessa I. I. Mechnikov University, Ukraine
- Assist. Prof. Dr. Seyil Najimudinova, Kyrgyzstan Türkiye Manas University, Kyrgyzstan
- Assoc. Prof. Dr. Tuncer Gövdeli, Atatürk University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Vedat Tümen, Bitlis Eren University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Vystavkina Daria, Odessa I. I. Mechnikov University, Ukraine
- Assist. Prof. Dr. Yıldırım Karadeniz, Kocaeli University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Yusuf Budak, Kocaeli University, Türkiye
- Phd. Alba Ramallari, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- Phd. Alma Zisi, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- PhD. Blerina Vrenozi, Tirana University, Albania
- Phd. Daniela Lika, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Daniel Honc, Pardubice University, Czechia
- PhD. Gülşah Keklik, İstanbul Technical University
- Phd. Irfan Wahyudi, Universitas Airlangga, Indonesia
- PhD. Mirela Alushllari, University of Albania, Albania
- PhD. Jonida Gashi, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Olta Nexhipi, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- PhD. Violeta Neza, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Ariola Harizi, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Saeid Shojaei, University of Tabriz, Iran
- PhD. Ada Aliaj, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- PhD. Moses M. Solomon, King Fahd University, Saudi Arabia
- PhD. Emma Gurashi Nikolaoy, University Of Patras, Greece
- PhD. Hisham M. Alidrisi, King Abdulaziz University, Saudi Arabia
- PhD. Thawee Numsakulwong, Rajamangala University of Technology Isan, Tayland
- PhD. Reyhan Dadash, Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan
- Lecturer Mustafa Of, Kocaeli University
- Lecturer İsmail Kılıçaslan, Kocaeli University
- Lecturer Kazım Kahraman, Kocaeli University

CONTENTS

ABSTRACTS / POSTERS	1
EVALUATION OF A DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORM PREPARED WITHIN THE SCOPE OF HUMAN COMPUTER INTERACTION BY SOFTWARE DEVELOPMENT EXPERTS.....	2
USABILITY EVALUATION OF A DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORM DEVELOPED FROM A HUMAN-COMPUTER INTERACTION PERSPECTIVE	3
EVALUATING SOFTWARE AGEING: A MODEL-BASED APPROACH.....	4
GREEN INNOVATION: INTEGRATION OF OLIVE BY-PRODUCTS INTO AQUATIC FOOD PROCESSING TECHNOLOGY	5
BIOGENIC FABRICATION OF SILVER NANOPARTICLES USING CAMELLIA SINENSIS LEAF EXTRACT AND EVALUATION OF THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES	6
COMPARATIVE INVESTIGATION OF KAHRAMANMARAŞ OPEN GREEN AREAS BEFORE AND AFTER 6 FEBRUARY EARTHQUAKES	7
PHYLOGENETIC ANALYSIS OF FUSARIUM SPECIES AFFECTING LENTIL CULTIVATION.....	8
DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CUSTOM BATCH FOAMING REACTOR AND ITS VALIDATION THROUGH BEAD FOAMING OF BIOPLASTICS	9
THE TECHNICAL READINESS, SAFETY, STANDARDS AND REGULATORY FRAMEWORK OF HYPERLOOP TECHNOLOGY IN THE FUTURE OF HIGH-SPEED TRANSPORTATION	10
VIBRATIONAL ANALYSIS OF CHLOROPHENYLGLYOXIME MOLECULE.....	11
THE EFFECT OF CHIROPRACTIC THORACIC MANIPULATION ON SHOULDER GIRDLE FUNCTION IN DESK WORKERS WITH MECHANICAL BACK PAIN.....	12
DETERMINATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF SCHOTTKY DIODES.....	13
FROM WASTE TO A VALUE-ADDED PRODUCT: DEVELOPMENT OF WATER REPELLENT AGENT FOR THE TEXTILE INDUSTRY BY RECYCLING WASTE RTV SILICONE	14
PHASE TRANSFORMATION OF B-DOPED LI7LA3ZR2O12 SOLID ELECTROLYTE IN POLYETHYLENE OXIDE SOLID ELECTROLYTE.....	15
DETECTION AND GRADING OF DIABETIC RETINOPATHY WITH TRANSFORMER AND CNN-BASED MODELS	16
WILL BE CLASSICAL CONTROL CIRCUIT REPLACED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE?.....	17
A NEW APPROACH IN FORENSIC SPECTROSCOPY: ELEMENTAL ANALYSIS OF LIQUID FOUNDATIONS BY SEM-EDS AND THEIR CONTRIBUTION TO CRIMINAL INVESTIGATIONS	18
A NOVAL APPROACH IN FORENSIC SCIENCES: EXAMINATION OF CIGARETTE BURNS ASSOCIATED WITH CHILD ABUSE USING THE SEM-EDS METHOD.....	19
THE USABILITY OF WASTE HORNS AS REINFORCING MATERIALS IN POLYMER COMPOSITE MATERIALS	20
A BIOTECHNOLOGICAL APPROACH TO ANTIBIOTIC RESISTANCE IN SPACE THROUGH CRISPR-BASED NISIN MODIFICATION	21
HIGH-EFFICIENCY COTTON RECOVERY FROM INDUSTRIAL TEXTILE WASTE: NIR SPECTROSCOPY AND BIOCHEMICAL SEPARATION METHOD	22
COATING MODIFICATION FOR SURFACE ENHANCEMENT OF CARBINES.....	23
AUTONOMOUS DRONE FLIGHT AND MISSION PLANNING WITH REINFORCEMENT LEARNING: DEVELOPING STRATEGIES TO ACHIEVE GOALS AND OVERCOME OBSTACLES	24

MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF PROBIOTIC LABELED FOOD PRODUCTS SOLD IN THE MARKET	25
FACILITATING DEVICE TREE GENERATION WITH A LOW-CODE DEVELOPMENT APPROACH.....	26
DETERMINATION OF THE STRESS INTENSITY FACTOR IN FRACTURE MECHANICS	27
INVESTIGATION OF SOME FUEL PROPERTIES OF CAMELINA (CAMELINA SATIVA) BIODIESEL, NANNOCHLOROPSIS GADITANA BIODIESEL, AND DIESEL FUEL BLENDS	28
DEVELOPMENT OF A LOW-LACTOSE, HIGH-PROTEIN AYRAN-LIKE FUNCTIONAL BEVERAGE USING CURD CHEESE, YOGURT, AND YOGURT WHEY	29
DESIGN OF POLYURETHANE FILMS PRODUCED FROM SUSTAINABLE MATERIALS	30
FULL TEXT PAPERS.....	31
YÜKSEK HIZLI ULAŞIMIN GELECEĞİ HYPERLOOP (HIZYUVAR) TEKNOLOJİSİNİN TEKNİK ALTYAPISI, EMNİYETİ, STANDARTLARI VE REGÜLASYONEL ÇERÇEVESİ.....	32
VIBRATIONAL ANALYSIS OF CHLOROPHENYLGLYOXIME MOLECULE.....	40
MEKANİK SIRT AĞRISI YAŞAYAN MASA BAŞI ÇALIŞANLARINDA KAYROPRATİK TORAKAL MANİPÜLASYONUN OMUZ KUŞAĞI FONKSİYONUNA ETKİSİ	49
DETERMINATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF SCHOTTKY DIODES.....	65
ATIKTAN KATMA DEĞERLİ BİR ÜRÜNE: ATIK RTV SİLİKONUN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ İLE TEKSTİL SEKTÖRÜ İÇİN SU İTİCİ AJAN GELİŞTİRİLMESİ.....	69
PHASE TRANSFORMATION OF B-DOPED $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ SOLID ELECTROLYTE IN POLYETHYLENE OXIDE SOLID ELECTROLYTE.....	73
TRANSFORMER VE CNN TABANLI MODELLER İLE DİYABETİK RETİNOPATİ TESPİTİ VE DERECELENDİRİLMESİ.....	80
ADLİ BİLİMLERDE YENİ BİR YAKLAŞIM: ÇOCUK İSTİSMARINA BAĞLI SİĞARA YANIKLARININ SEM-EDS YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ.....	94
KARABİNALARIN YÜZEY İYİLEŞTİRMELERİ İÇİN KAPLAMA MODİFİKASYONU	98
PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME İLE OTONOM DRON UÇUŞU VE GÖREV PLANLAMASI: HEDEFLERE ULAŞMA VE ENGELLERİ AŞMA STRATEJİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	113
AYGIT AĞACI ÜRETİMİNİN AZ-KODLU GELİŞTİRME YAKLAŞIMIYLA KOLAYLAŞTIRILMASI	131
KETENCİK (CAMELINA SATIVA) BİYODİZELİ, NANNOCHLOROPSIS GADITANA BİYODİZELİ VE DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BAZI YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	143

ABSTRACTS / POSTERS

The abstract fields of the papers that have met all the conditions of the ICONIL 2025 SPRING congress as abstract, poster and full text will be shown on the following pages. In addition, the full texts of the papers that have been applied as full text are available on the following pages.

EVALUATION OF A DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORM PREPARED WITHIN THE SCOPE OF HUMAN COMPUTER INTERACTION BY SOFTWARE DEVELOPMENT EXPERTS

Assist. Prof. Dr. EMRULLAH YİĞİT

Van Yüzüncü Yıl University, Faculty Of Education, Educational Sciences Department Instructional
Technologies
emrullahyigit@yyu.edu.tr

Prof. Dr. ÇELEBİ ULUYOL

Gazi University, Faculty Of Education, Computer and Educational Technologies Education
celebi@gazi.edu.tr

Abstract

Recently, there has been increasing interest in digital platforms for educational purposes. While activities carried out in traditional classroom environments are being transferred to digital environments, activities such as opening a class, adding/sharing content, assigning homework, and taking tests/quizzes can also be carried out in these environments. Transferring learner interactions to digital environments and recording them allows for more detailed examination and evaluation of these records (Snodgrass Rangel, Bell, Monroy, & Whitaker, 2015). It will not be enough for the developed systems to look good visually. Software developers are expected to have knowledge on issues such as why users will use the system, how they will do this, how they will interact with the interface, and in short, including the user in the design process. However, Inal and Güner (2016) stated in a study that a significant portion of software developers have not received any training on user experience or usability, that their awareness levels are low, and that they have incomplete or incorrect information on these issues. It is thought that the design of digital platforms for educational purposes should be different from normal web pages. Correcting deficiencies or errors that will occur after the design is completed will mean additional time and cost, and may also have a negative impact on the academic performance of learners. For this reason, it is aimed to reveal the opinions of software development experts who develop digital educational platforms on this point and to evaluate a Digital Educational Platform designed in terms of IBE. This study aims to examine a digital educational platform developed with the opinions of software development experts on HBE in terms of HBE. In this study, face-to-face interviews were conducted with experts since it was aimed to evaluate a digital educational software whose prototype was developed by software development experts in terms of HBE and to reveal the opinions of experts on HBE. Thus, it was aimed to evaluate the developed platform by field experts and to make corrections in line with their opinions and suggestions. The interviews to be conducted were recorded and converted into texts. The obtained interview texts were analyzed with the content analysis method and codes and themes were created. The study will be carried out with software development experts working at Van Yüzüncü Yıl University who volunteered to participate in the study.

Keywords: Human Computer Interaction, Usability Analysis, E-learning

* This paper is supported by Van Yuzuncu Yil University Scientific Research Projects Coordination Unit within the scope of Career Support Project number SYD-2025-11800.

USABILITY EVALUATION OF A DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORM DEVELOPED FROM A HUMAN-COMPUTER INTERACTION PERSPECTIVE

Assist. Prof. Dr. EMRULLAH YİĞİT

Van Yüzüncü Yıl University, Faculty Of Education, Educational Sciences Department Instructional
Technologies
emrullahyigit@yyu.edu.tr

Prof. Dr. ÇELEBİ ULUYOL

Gazi University, Faculty Of Education, Computer and Educational Technologies Education
celebi@gazi.edu.tr

Abstract

This study aims to examine the usability of a digital educational platform developed within the scope of Human-Computer Interaction (HCI). A quasi-experimental design was employed, and participants were divided into experimental and control groups. The experimental group utilized the platform developed by the researchers, while the control group used the institution's existing distance education system. Usability levels were measured using the System Usability Scale (SUS) and the HCI-Usability Observation Form (HCIUOF). Additionally, the HCI-Based Evaluation Survey for Distance Education Systems (HCIDES) was applied to identify deficiencies from an HCI perspective. A total of 363 university students participated in the study. The data were analyzed using SPSS 21 software. Descriptive statistics such as mean, standard deviation, percentage, and frequency were calculated, and comparative analyses were performed using independent samples t-test and one-way analysis of variance (ANOVA). The findings indicated that the platform developed by the researchers received significantly higher usability scores from the experimental group. Furthermore, in terms of task completion time and accuracy, the developed platform proved to be more effective and user-friendly compared to the existing system. Students in the experimental group completed the tasks more quickly and with fewer errors. The results revealed that digital educational platforms designed in line with HCI principles better meet user expectations, enhance the efficiency of the learning process, and increase overall user satisfaction. The importance of ensuring active participation of the target audience in platform design and integrating user experience into the software development process is emphasized. Accordingly, several recommendations are presented for educational institutions and developers. *This study is a summary of the article titled "Examining the Usability of an Educational Platform Designed for Human Computer Interaction" published in the Hacettepe University Faculty of Education Journal (H. U. Journal of Education).

Keywords: Usability, Usability Analysis, E-learning Platform

* This study is a summary of the article titled "Examining the Usability of an Educational Platform Designed for Human Computer Interaction" published in Hacettepe University Journal of Education (H. U. Journal of Education).

EVALUATING SOFTWARE AGEING: A MODEL-BASED APPROACH

Prof. Dr. Jamaiah Yahaya

University Kebangsaan Malaysia Qatar, Faculty Of Information Science And Technology, Research
And Postgraduate Studies Division

jamaiah.yahaya@ukm.qa

Lecturer PhD. Zuriani Hayati Abdullah

Multimedia University, Faculty Of Computing And Information

zha.ukm@gmail.com

Prof. Dr. Aziz Deraman

University Malaysia Terengganu, Faculty Of Ocean Technology Engineering And Informatics

a.d@umt.edu.my

Abstract

Software ageing refers to the gradual decline in the performance of software products over time, often leading to obsolescence and operational challenges. Although ageing is a natural and inevitable process, its impact can be mitigated by identifying and addressing contributing factors—particularly those related to software quality. This study explores the external influences on software ageing, with a particular focus on quality dimensions, supported by prior research that shows a strong correlation between software quality and the rate of ageing. To support proactive monitoring and decision-making, this research introduces an evaluation instrument aimed at assessing the ageing state of software products. The instrument enables software owners to evaluate the continued relevance and effectiveness of their applications within specific operational environments. Central to this effort is the development of the SoftAge model, which consists of six core elements: ageing factors, software product targets, evaluati

Keywords: Software Ageing, Software Product Evaluation, Softage, Ageing Index

GREEN INNOVATION: INTEGRATION OF OLIVE BY-PRODUCTS INTO AQUATIC FOOD PROCESSING TECHNOLOGY

Assistant PhD. DİLEK KAHRAMAN YILMAZ

Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty Of Marine Sciences And Technology, Basic Sciences
dilek.kahramanyilmaz@comu.edu.tr

Abstract

Solid and/or liquid wastes generated during olive oil production pose a problem from an environmental perspective. However, these wastes are potentially valuable by-products due to their rich content in phenolic compounds, antioxidants, and antimicrobial substances. This study uses residues from olive oil production (e.g., olive pulp, olive mill waste, and olive leaves) as additives in aquaculture processing technologies. Using these by-products offers sustainable and innovative solutions, especially in areas such as extending shelf life, microbial quality control, and increasing the functional properties of products. In addition, reducing food waste and evaluating these wastes in line with circular economy principles are environmentally and economically important. In this context, further research on the integration of olive oil production residues and aquaculture processing technologies will contribute to the full realization of the potential of these wastes as functional food ingredients.

Keywords: Green Technology, Functional Seafood, Bioactive Compounds, Natural Preservatives

BIOGENIC FABRICATION OF SILVER NANOPARTICLES USING CAMELLIA SINENSIS LEAF EXTRACT AND EVALUATION OF THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES

Assist. Prof. Dr. FURKAN ŞAHİN

Beykent University, Faculty Of Engineering And Architecture, Biomedical Engineering
furkansahin@beykent.edu.tr

SEMA NUR SARICAOĞLU

Beykent University, Faculty Of Engineering And Architecture, Biomedical Engineering
2203017011@student.beykent.edu.tr

SENA NUR DİREK

Beykent University, Faculty Of Engineering And Architecture, Biomedical Engineering
2103017001@student.beykent.edu.tr

Abstract

Silver nanoparticles (AgNPs) have found extensive application in biomedical contexts, owing to their broad-spectrum antibacterial and antifungal properties, high surface area, stability, biocompatibility, and anti-inflammatory characteristics. In this study, AgNPs were synthesized through an eco-friendly and sustainable green synthesis approach. In the synthesis process, an aqueous extract of *Camellia sinensis* was utilized as both a reducing and stabilizing agent, with silver nitrate (AgNO_3) serving as the metal precursor. The resulting nanoparticles were characterized by UV-Vis spectrophotometry and dynamic light scattering (DLS). The presence of a distinct absorption peak at 501 nm in the UV-Vis spectrum is indicative of the formation of small, spherical AgNPs. It is evident from the DLS analysis that the Z-average particle size was determined to be 127.98 nm, thus indicating elevated colloidal stability and homogeneity. The hydrodynamic diameter of the AgNPs, ranging from 50 to 200 nanometers, renders them suitable for biomedical applications. The antimicrobial activity of the synthesized AgNPs was evaluated against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Candida albicans* using the minimum inhibitory concentration (MIC) and disk diffusion methods. MIC values were found to be 31.25 $\mu\text{g/mL}$ for all strains that were tested. In the disk diffusion assay, the inhibition zone diameters were measured as 13.8 mm for *E. coli*, 13.4 mm for *S. aureus*, and 14.1 mm for *C. albicans*, thus confirming the broad-spectrum antimicrobial activity of the compound. The antioxidant activity was evaluated using the DPPH free radical scavenging assay. The *Camellia sinensis* extract demonstrated the most significant antioxidant activity, with a percentage of 71.68%. The AgNPs exhibited a dose-dependent antioxidant effect, with scavenging activities of 66.61% at 1 mg/mL, 60.39% at 500 $\mu\text{g/mL}$, and 47.27% at 250 $\mu\text{g/mL}$. In conclusion, *Camellia sinensis* extract serves as an effective agent for the green synthesis of biocompatible AgNPs with significant antimicrobial and antioxidant properties. These findings underscore the potential of plant-based nanoparticles in biomedical applications and their contribution to combating antimicrobial resistance and supporting the development of novel biomaterials.

Keywords: Antifungal, Antibacterial, Antioxidant, Silver Nanoparticle

COMPARATIVE INVESTIGATION OF KAHRAMANMARAŞ OPEN GREEN AREAS BEFORE AND AFTER 6 FEBRUARY EARTHQUAKES

Seniha KARATAŞLI

Bursa Technical University, Graduate Education Institute, Urban Design
senihakaratasli@gmail.com

Assist. Prof. Dr. Volkan MÜFTÜOĞLU

Bursa Technical University, Graduate Education Institute, Department Of Landscape Architecture
volkan.muftuoglu@btu.edu.tr

Abstract

On February 6, 2023, two earthquakes occurred in the Pazarcık district of Kahramanmaraş, with a magnitude of 7.7 at 04:17 and a magnitude of 7.6 at 13:24 centered in Elbistan, Kahramanmaraş. Kahramanmaraş and 11 provinces were affected by the earthquake, and there were destructions in these regions. After the earthquake, many parks and open green spaces suffered serious damage due to landslides, falling trees or structural damage. The loss of green spaces negatively affected the ecosystem in the city. After the earthquake, work was initiated to repair and reorganize the damaged parks, but this process is time-consuming and costly. There was a decrease in the use of parks and people began to benefit less from open green spaces due to safety concerns arising from the equipment damaged in the earthquake. While there was a wide network of green spaces before the earthquake, the accessibility of these areas decreased after the earthquake. The aesthetic appearance and functionality of green spaces were negatively affected due to losses and damages after the earthquake. Parks, which played an important role in the revival of social life before the earthquake, also had negative effects on human psychology after the earthquake. The findings made as a result of the examination of the study areas subject to the research conducted show that open green areas have been seriously damaged. Problems such as falling trees, damage to the landscape elements and playground equipment that make up the green area have been reported. Local governments have created emergency action plans to repair the damaged green areas. These plans include replanting trees, renewing playgrounds and general arrangement of parks. The loss of open areas has negatively affected social interaction and a decrease in the trust of local people in parks has been observed. What needs to be done after the earthquake disaster that caused great destruction is to heal the wounds of the people who witnessed the earthquake as soon as possible. The revival of cities plays a very important role in healing these wounds. Without destroying the city's memory, new living spaces should be built by taking into consideration security, shelter, social facilities, geography, and tangible and intangible cultural assets, and the wounds of the earthquake should be healed.

Keywords: Open Green Area, Public Area, 6 February Kahramanmaraş Earthquakes, Natural Disaster, Temporary Housing

PHYLOGENETIC ANALYSIS OF FUSARIUM SPECIES AFFECTING LENTIL CULTIVATION

SHOUROK ALHALLAK

Gaziantep University, Institute Of Science, Biochemistry Science And Technology
shourokalthallak@gmail.com

Talap Talapov

Gaziantep University, Institute Of Science, Biology
talapov10@gmail.com

Olçay Dedecan

Gaziantep University, Institute Of Science, Biology
olcyddcn@gmail.com

Prof. Dr. Canan Can

Gaziantep University, Faculty Of Arts And Sciences, Biology
ayselcan1938@gmail.com

Abstract

Lentil is a large cultivated legume known for its nutritional value and economic importance. However, Fusarium species such as *F. oxysporum*, *F. solani*, and *F. avenaceum* cause wilt and root rot diseases which present major threats to legume cultivation, causing less productivity of yield. Accurate identification and biological understanding of legume-infecting species are essential for developing effective management strategies. The purpose of this study is to establish a biological profile of legume-infecting species that affect legume crops using inter-Primer Binding Site (iPBS) marker. The iPBS marker provides a box of molecular markers based on transposons and high levels of polymorphism and has been shown to be useful for studies of genetic diversity and discrimination between species. Through DNA fingerprinting and biological analysis, this research aims to improve our understanding of the genetic relationships among Fusarium and create potential genetic markers to improve our understanding of the genetic relationships.

Keywords: Lentil, Fusarium Species, Pathogen

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CUSTOM BATCH FOAMING REACTOR AND ITS VALIDATION THROUGH BEAD FOAMING OF BIOPLASTICS

ARDA KESLER

Istanbul Technical University, Graduate Education Institute/faculty Of Chemistry-Metalurgia,
Material Science And Engineering
ardakesler@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. MOHAMMADREZA NOFAR

Istanbul Technical University, Graduate Education Institute/Faculty Of Chemistry-Metalurgia,
Material Science And Engineering
nofar@itu.edu.tr

Abstract

Sustainable polymers have gained worldwide importance as they have started to become viable alternatives for petroleum-based plastics. This is mainly due to their potential to overcome environmental detriments such as plastic pollution, carbon emissions and the possible depletion of natural resources. Türkiye, having very limited fossil fuel resources, and increasing use of plastics, will benefit much more from any progress in the bioplastics field, and possible gradual replacement of petroleum-based plastics with bioplastics. Polylactic acid(PLA) is a sustainable plastic because it can be produced efficiently from various agricultural products, and has rapid biodegradation properties. PLA has suitable mechanical properties for foam production, and has long attracted the attention of both academics and industry. Bioplastic foams that can compete economically and technically with petroleum-based foams on an industrial scale have not yet been produced. Research on this subject is being conducted at our university, as well as in many major universities around the world. Extensive testing of bioplastic samples under controlled laboratory environments and with varying production methods is needed, before industrial processes that enable large-scale foam production from bioplastics can be designed. İTÜ, as one of the leading universities in academic research on the subject of sustainable polymers, has been planning to equip its Sustainable Green Plastics Laboratory(SGPL) with a laboratory scale batch foaming reactor. The main aim of this project is to develop an autoclave batch foaming reactor to be used for bioplastic foaming research at İTÜ. The project started with a general literature survey on the subject, and continued with the design of the autoclave body using a CAD software, design of a special workbench, materials selection, production of individual parts, assembly of the autoclave and the workbench. Finally, operational testing of the device in SGPL with PLA samples and supercritical carbon dioxide as blowing agent was carried out using different temperatures, pressures and foaming times. After successful operational tests, the foaming device which is unique in Türkiye, has been added to ITU infrastructure to be used in different research projects after this thesis project, and is expected to benefit researchers significantly by facilitating their testing work.

Keywords: Pla, Batch Foaming, Supercritical Co₂, Sustainability, Bioplastic, Sustainable Plastic

THE TECHNICAL READINESS, SAFETY, STANDARDS AND REGULATORY FRAMEWORK OF HYPERLOOP TECHNOLOGY IN THE FUTURE OF HIGH- SPEED TRANSPORTATION

BURAK KOÇ

Gazi University, Institute Of Science, Manufacturing Engineering
burakoc@outlook.com.tr

Abstract

This study provides a comprehensive evaluation of Hyperloop technology in terms of its technical readiness, safety, technical standards, and regulatory frameworks. With its innovative structure, Hyperloop combines low-pressure tubes and magnetic levitation systems to offer a high-speed, energy-efficient, and environmentally friendly mode of transportation. However, for the successful implementation of this system, it is essential to first establish safety measures, technical standards, and regulatory frameworks. The safety of Hyperloop requires a fundamentally different approach compared to conventional transportation systems. Preliminary hazard analyses, automated control systems, and cybersecurity protocols are of critical importance for ensuring the system's reliability. In terms of technical standards, elements such as material durability, energy efficiency, and passenger ergonomics must be standardized at an international level. From a regulatory perspective, the legal status of Hyperloop must be supported by new legislation at both national and international levels. Hyperloop holds significant potential as a next-generation transportation system. However, realizing this potential depends on the effective implementation of safety measures, technical standards, and a coherent regulatory framework.

Keywords: Hyperloop Safety, Top Level Sur-rail System, Future Of Transportation

VIBRATIONAL ANALYSIS OF CHLOROPHENYLGLYOXIME MOLECULE**Assist. Prof. Dr. ZAHİDE TOSUN**

Selçuk University, Faculty Of Science, Physics

*zahidetsn@selcuk.edu.tr***Abstract**

Chlorophenylglyoxime is a chemical used as a reagent in the detection of metal ions and in organic synthesis. In this research, the correlation between the experimental and theoretically calculated vibrational frequencies of the chlorophenylglyoxime molecule was investigated. The molecular geometry optimization and vibrational frequency computations were performed using ab initio methods. For the theoretical calculations, the DFT-B3LYP method was used with 6-31G (d) and 6-311++G (d,p) basis sets, while the HF method utilized the 6-31G (d) basis set. The calculated vibrational frequencies were adjusted using appropriate scaling factors. It was observed that the scaled vibrational frequencies showed good agreement with the experimental results. Furthermore, the efficiency of the employed methods and basis sets was analyzed. It was found that the DFT-B3LYP method with the 6-311++G (d,p) basis set provides the most accurate results for frequency calculations.

Keywords: Vibrational Spectroscopy, Frequency Calculations, frequency Calculations With Ab Initio Methods

THE EFFECT OF CHIROPRACTIC THORACIC MANIPULATION ON SHOULDER GIRDLE FUNCTION IN DESK WORKERS WITH MECHANICAL BACK PAIN

AYÇA İSKENDER

Istanbul Nisantasi University, Graduate Education Institute, Chiropractic
20221548007@std.nisantasi.edu.tr

Abstract

This study aimed to investigate the short-term effects of chiropractic thoracic high-velocity, low-amplitude (HVLA) manipulation on pain level and shoulder girdle function in office workers experiencing mechanical back pain. A single-group pretest–posttest design was employed with 32 volunteers (18 women, 14 men; aged 20–55 years). Participants received eight sessions of thoracic HVLA manipulation over four weeks. Pain and functional status were assessed before and after the intervention using the Visual Analogue Scale (VAS), Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH), and the Upper Extremity Functional Index (UEFI). Post-treatment, the median VAS score decreased from 6 to 2 ($p < .001$), UEFI scores increased by 18.5 ± 7.2 points ($p < .001$), and DASH scores decreased by 26.1 ± 9.4 points ($p < .001$). The effect size was large ($r \approx .87$), and outcomes were not significantly affected by age, body mass index (BMI), or duration of occupational activity. Findings support the regulatory role of thoracic spine mobility on scapulothoracic rhythm and suggest that thoracic manipulation may offer clinically meaningful short-term benefits for office workers suffering from mechanical back pain. Further studies with controlled, long-term, and ergonomics- or exercise-based combined protocols are recommended to evaluate the sustainability of the intervention.

Keywords: Thoracic Spine, Hvla Manipulation, Mechanical Back Pain, Shoulder Function, Chiropractic, Office Workers

DETERMINATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF SCHOTTKY DIODES**Assist. Prof. Dr. ZEYNEP KİŞNİŞCİ**

Selçuk University, Faculty Of Science, Physics

*znalcacigil@selcuk.edu.tr***Abstract**

Schottky diodes are metal–semiconductor devices known for their fast switching speed and low forward voltage drop. To analyze and design circuits using Schottky diodes effectively, it is necessary to determine their electrical parameters. Accurate measurement of these parameters is very important for understanding the diode's characteristics, ensuring accuracy in designs, and developing high-performance circuits. Various methods can be used to obtain the electrical parameters of diodes from experimental data. These methods can be listed as the Classical method, analysis of the linear part of the $\ln(I)$ -V plot, Norde method, Cheung-Cheung method. Diode parameters such as ideality factor, schottky barrier height, series resistance can be investigated by these methods. As a result the electrical parameters of schottky diodes can be compared using different methods and their reliability can be ensured.

Keywords: Schottky Diode, Ideality Factor, Cheung-cheung Method

FROM WASTE TO A VALUE-ADDED PRODUCT: DEVELOPMENT OF WATER REPELLENT AGENT FOR THE TEXTILE INDUSTRY BY RECYCLING WASTE RTV SILICONE

SEVDENUR SUSAM

Marmara University, Institute Of Science, Polymer Science And Technologies
sevdenurgedikali@gmail.com

Abstract

The importance of eco-friendly and sustainable products is increasingly recognized today. In this context, the recycling and reuse of industrial waste are considered significant steps in reducing environmental impact. The recycling of industrial waste such as silicone molds offers potential for the development of various innovative products in the textile sector. While traditional waterproofing processes often involve environmentally harmful chemicals, the aim here is to provide an environmentally friendly alternative through the use of recycled silicone molds. In this study, waste RTV silicone was converted into oligomeric siloxane chains by reaction with toluene, a secondary amine, ethyl alcohol, and a base. The resulting product was characterized using NMR and GPC. It was then applied to cotton textile surfaces, and its surface properties were investigated. Additionally, the water-repellent properties of the surface were evaluated through contact angle measurements.

Keywords: Rtv Silicone, Water-repellent Agent, Recycling

PHASE TRANSFORMATION OF B-DOPED $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ SOLID ELECTROLYTE IN POLYETHYLENE OXIDE SOLID ELECTROLYTE

Assist. Prof. Dr. SEVDA SARAN

Selçuk University, Science Faculty, Physics

sevdaaktas@selcuk.edu.tr

Abstract

Garnet-type $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ -based composite solid-state electrolytes for solid-state batteries offer good ionic conductivity and flexibility with the combination of advantages of $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO) and polyethylene oxide (PEO) solid electrolytes. However, the ionic conductivity of composite solid electrolytes is not enough for practical applications. In this work, Boron-doped LLZO solid electrolyte was incorporated into the PEO solid electrolyte to enhance the ionic conductivity of the composite solid electrolyte. The crystal structure and Li^+ ion conductivity of the synthesized flexible composite electrolytes were examined by X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS), respectively. Findings indicate that the tetragonal B-LLZO transformed into the highly conductive cubic phase with the incorporation into the PEO solid electrolyte at room temperature. Among the prepared composite solid electrolytes, 1% B-doped LLZO incorporated sample shows the best ionic conductivity of $2.49 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ at room temperature.

Keywords: Flexible Solid Electrolytes, Peo-based Solid-state Electrolytes, Llzo, Crystal Phase Transformation

DETECTION AND GRADING OF DIABETIC RETINOPATHY WITH TRANSFORMER AND CNN-BASED MODELS

Esma Fazilet Karagülle

Atatürk University, Faculty Of Engineering, Software Engineering
esmakaragulle25@gmail.com

Assist. Prof. Dr. Esra Odabaş Yıldırım

Atatürk University, Faculty Of Engineering, Software Engineering
esra.odabas@atauni.edu.tr

Abstract

Diabetic Retinopathy, one of the visual disorders caused by diabetes, can cause vision loss in advanced stages in people suffering from the disease. In this study, the performance of deep learning-based methods for automatic diagnosis of diabetic retinopathy disease was comparatively investigated. Both binary classification and multiple classification tasks were performed using the APTOS-2019 fundus dataset. Traditional Convolutional Neural Network (CNN) architectures and Transformer-based new generation models were evaluated in model training. In order to prevent data imbalance, a k-fold cross-validation strategy was applied. Metrics such as accuracy, F1-score and Kappa were used for performance evaluation. According to the experimental results, the Swin Transformer architecture showed superior performance compared to traditional CNN architectures. However, the ViT-Base model achieved similar or even lower success with CNN-based structures in some scenarios. The findings show that Transformer-based approaches offer strong alternatives in DR diagnosis, but they are not at a level to replace CNNs in all cases.

Keywords: Deep Learning, Diabetic Retinopathy, Transformer Architectures

WILL BE CLASSICAL CONTROL CIRCUIT REPLACED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE?

Assistant PhD. DANIEL HONC

Pardubice University, Faculty Of Electrical Engineering And Informatics, Department Of Automation
And Mathematics
daniel.honc@upce.cz

Abstract

The paper is a reflection on the current state and possibilities of artificial intelligence in the context of process control and automation and the future in this field. Will classical standard approaches be replaced by artificial intelligence methods in the future? Will controllers be implemented in the cloud? These are questions that everyone involved in this field must ask themselves. It is difficult to predict what the next 10 or 50 years will bring, but let us try to say what is currently being used in advanced methods and where the technology is likely to go in the near future.

Keywords: Automation, Controller, Artificial Intelligence

A NEW APPROACH IN FORENSIC SPECTROSCOPY: ELEMENTAL ANALYSIS OF LIQUID FOUNDATIONS BY SEM-EDS AND THEIR CONTRIBUTION TO CRIMINAL INVESTIGATIONS

DİDEM ÇİLENGİROĞLU

Ondokuz Mayıs University, Master's Institute, Forensic Sciences
dcdidem@hotmail.com

Prof. Dr. YILDIRAY TOPCU

Ondokuz Mayıs University, Faculty Of Engineering, Chemical Engineering
ytopcu@omu.edu.tr

Abstract

The phenomenon of crime has been a fundamental subject of interest throughout history and has significantly influenced the development of forensic sciences. Forensic science is an interdisciplinary field that aims to analyze evidence obtained from crime scenes using scientific methods. In this context, traces left by cosmetic products, particularly in assault cases involving physical contact, can serve as important evidence in revealing the relationship between the perpetrator and the victim. Products such as lipstick, nail polish, powder, and especially foundation are considered significant forensic evidence due to their ability to leave persistent traces on various surfaces. This study focuses on the analysis of liquid foundations using Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) and evaluates how the chemical composition of foundations can be examined through modern analytical techniques to contribute to the clarification of crimes. The increasing use of cosmetic products in daily life continues to enhance the evidential value of such traces and their importance in crime scene investigations.

Keywords: Forensic Sciences, Trace Evidence, Cosmetic Products, Foundation, Sem-Eds

A NOVAL APPROACH IN FORENSIC SCIENCES: EXAMINATION OF CIGARETTE BURNS ASSOCIATED WITH CHILD ABUSE USING THE SEM-EDS METHOD

DİDEM ÇİLENGİROĞLU

Ondokuz Mayıs University, Master's Institute, Forensic Sciences

dcdidem@hotmail.com

Prof. Dr. YILDIRAY TOPCU

Ondokuz Mayıs University, Faculty Of Engineering, Chemical Engineering

ytopcu@omu.edu.tr

Abstract

Child abuse is a serious public health issue on a global scale and, at the same time, a complex and sensitive area of investigation in forensic sciences. Burn lesions, which are among the physical indicators of abuse, may serve as direct evidence of the neglect and violence to which the victim has been subjected, especially when caused by a cigarette. Such lesions are considered distinctive in abuse cases and are regarded as significant evidence in forensic investigations. However, determining the origin of these lesions solely through visual assessment is susceptible to subjective interpretation, and therefore, scientific validation is essential within judicial processes. This need becomes even more critical in cases where the victim is very young, unable to testify, or has cognitive impairments. In this context, advanced microscopic and chemical analysis techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) offer valuable potential for examining the chemical composition of the suspected burn lesions and identifying possible correlations with cigarette butts found at the crime scene. The applicability of these methods in forensic casework may contribute to the generation of objective and scientifically sound evidence, ultimately supporting both the legal process and the protection of child victims.

Keywords: Forensic Science, Child Abuse, Cigarette Burn, Cigarette Butt, Sem-eds

THE USABILITY OF WASTE HORNS AS REINFORCING MATERIALS IN POLYMER COMPOSITE MATERIALS

HALUK KARAYİĞEN

Mehmet Akif Ersoy University, Engineering-Architecture Faculty, Mechanical Engineering
halukkarayigen@gmail.com

Assist. Prof. Dr. LOKMAN YÜNLÜ

Mehmet Akif Ersoy University, Engineering-Architecture Faculty, Mechanical Engineering
lyunlu@mehmetakif.edu.tr

Abstract

The increasing risk of depletion of natural resources and the emergence of a need for sustainable materials have led to studies being conducted in response to the demand for the efficient reuse of domestic and industrial waste. This study examines the production, comparison, and characterization of polymer composites reinforced with animal horn powder. This reinforcing material was chosen due to its abundance and sustainability as a biodegradable source. In this study, polyurethane resin was used as the matrix polymer due to its high mechanical properties. In this study, animal horns were collected from waste, cleaned, and dried. The animal horns were then ground into powder. The reinforcing elements were subsequently added to the polymer matrix at weight ratios of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% using silicone molds, and the production was carried out. Characterization processes include mechanical tests such as tensile strength, flexural strength, and impact strength. As a result, it was observed that adding animal horn powder to the polymer matrix as a reinforcement material improves mechanical properties. This study demonstrates that animal horn powders can serve as viable reinforcement materials in polymer composites and that each type enhances different mechanical properties. The results support the development of bio-based composites. The waste-based reinforcement materials used in this study contribute to sustainability not only during their initial use but also after the material has reached the end of its life cycle, thanks to their recyclable structures. The findings contribute to developments aimed at reducing synthetic waste and promoting environmentally friendly composite materials.

Keywords: Polymer, Composite, Horn, Biodegradable

A BIOTECHNOLOGICAL APPROACH TO ANTIBIOTIC RESISTANCE IN SPACE THROUGH CRISPR-BASED NISIN MODIFICATION

Larasu Tuana Davşan

Biruni University, Faculty Of Engineering And Natural Sciences, Molecular Biology And Genetics
larasudavsan03@gmail.com

Hümeyra Yiğit

Bülent Ecevit University, Faculty Of Science, Molecular Biology And Genetics
humeyrayigit80@gmail.com

Elif Ferda Akyüz

Uludağ University, Faculty Of Arts And Sciences, Molecular Biology And Genetics
ferdaakyuz999@gmail.com

Su Naz Sayın

Eskişehir Technical University, Faculty Of Science, Biology
sunazsayin475@gmail.com

Ayşe Sıla Işık

Eskişehir Technical University, Faculty Of Science, Biology
aysesila2000@gmail.com

Abstract

This review project aims to provide a biotechnological solution to the growing issue of antibiotic resistance encountered by astronauts during space missions. Due to stress factors such as microgravity and radiation in space, bacteria tend to mutate rapidly and develop resistance to conventional antibiotics. At the same time, the immunosuppressed status of astronauts makes these infections more severe and life-threatening. The central research question of this study is: “Can nisin, genetically modified using CRISPR-Cas9 technology, be transformed into a more effective, stable, and broad-spectrum antibacterial agent against antibiotic-resistant bacteria encountered in space conditions?” With in this review, the antimicrobial potential of genetically modified nisin variants is examined through a comparative analysis with conventional nisin and other natural antibacterial agents reported in the literature. The core hypothesis of the study is that genetically engineered nisin will demonstrate enhanced antibacterial efficacy and stability under space-like conditions when compared to traditional forms. While the antimicrobial applications of nisin in the food industry are well-established, there remains a significant gap in the literature regarding its performance under extreme conditions such as those in space. Therefore, this study not only contributes to space biotechnology but also to the development of next-generation therapeutic strategies against the global rise of antibiotic resistance. Additionally, the proposed approach offers a strategic innovation that can be integrated across disciplines including biotechnology, pharmaceutical sciences, microbiology, and space biology. The increasing need for biologically-based and genetically enhanced antimicrobial agents for infection control and immune support during long-term space missions makes this investigation highly relevant. Accordingly, it is anticipated that CRISPR-programmed nisin may serve as a safe and effective agent in both space-based and terrestrial medical applications.

Keywords: Crispr-cas9, Antibacterial Agent, Nisin, Antibiotic Resistance, Genetic Modification

HIGH-EFFICIENCY COTTON RECOVERY FROM INDUSTRIAL TEXTILE WASTE: NIR SPECTROSCOPY AND BIOCHEMICAL SEPARATION METHOD

Engineer NİMET KÖLEOĞLU

Gaziantep University, Faculty Of Engineering, Textile Engineering
koleoglu@gamaiplik.com

Engineer ZAFER KAPLAN

Uludağ University, Faculty Of Engineering, Textile Engineering
kaplan@gamaiplik.com

Engineer Nuri KÖSE

Gaziantep University, Faculty Of Engineering, Electrical-Electronic Engineering
arge@gamaiplik.com

Abstract

Since the Industrial Revolution, accelerated industrial activities—particularly in the textile sector—have led to the generation of high volumes of waste, posing significant environmental threats. Currently, approximately 30 million tons of textile and apparel waste are landfilled annually, 10 million tons are incinerated, and only about 1 million tons are recycled. Of this recycled portion, merely 10% is suitable for conversion back into textile products. This study presents an innovative and integrated recycling technology aimed at efficiently recovering natural fiber components, particularly cotton, from textile waste. The process begins with the separation of textile waste based on synthetic and natural fiber content using Near-Infrared (NIR) spectroscopy. Subsequently, sewing threads and metal accessories are removed from cotton-rich waste using biochemical methods, followed by chemical extraction processes to eliminate color pigments and polymer residues. As a result, a highly purified cotton-based textile matrix is obtained. These textile fragments are then softened through appropriate chemical finishing treatments and converted into fibers using mechanical opening equipment. The proposed method holds significant potential for sustainable textile recycling and natural resource conservation in line with circular economy principles.

Keywords: Textile Waste, Near-infrared (nir) Spectroscopy, Biochemical Recycling

COATING MODIFICATION FOR SURFACE ENHANCEMENT OF CARBINES**Tural Ege Ertaş**İzmir Demokrasi University, Institute Of Science, Mechanical Engineering
*ege.ertas_@hotmail.com***PhD. İlder Kilerci**Eko Industry, Faculty Of Engineering, Mechanical Engineering
*ilder.kilerci@ekoendustri.com***Prof. Dr. Uğur Çavdar**İzmir Demokrasi University, Faculty Of Engineering, Mechanical Engineering
*ugur.cavdar@uzem.idu.edu.tr***Abstract**

In this project, it is aimed to prevent corrosion caused by contact with abrasive materials of carabiners with EN 362 standard, which are used as connecting elements in high-altitude work in the field of occupational health and safety, by surface improvements. The method used in the study is different from the studies on this subject and aims to have an innovative approach. In addition to having good mechanical and electrical properties, metal materials should be as light as possible and produced with current manufacturing techniques. In this study, it was aimed to improve the surface of steel carabiners by coating. Before coating, the surface of the carabiners was polished. For coating optimization, carabiners were coated with TiN and AlCrN and two different studies were conducted. In order to determine the coating optimization, corrosion resistance, compression and tensile strength values were obtained for two different coating type parameters. The results obtained were compared among themselves.

Keywords: Carbine, Corrosion, Tensile Strength, Surface Coatings

AUTONOMOUS DRONE FLIGHT AND MISSION PLANNING WITH REINFORCEMENT LEARNING: DEVELOPING STRATEGIES TO ACHIEVE GOALS AND OVERCOME OBSTACLES

ABDULNASIR UĞURLU

Fırat University, Faculty Of Technology, Control Systems
anasirugurlu@gmail.com

Assoc. Prof. Dr. GONCA ÖZMEN KOCA

Fırat University, Faculty Of Technology, Mechatronics Engineering
gonca.ozmen@gmail.com

Abstract

In recent years, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have been the subject of extensive research, particularly concerning mission planning and autonomous navigation. This study aims to enhance the autonomous flight and mission planning capabilities of drones using Reinforcement Learning (RL) algorithms. Drones, which have become widespread in both civilian and military sectors in recent years, anticipate minimizing human intervention by increasing their levels of autonomy in response to the need for decision support systems. The goal is to enable the learning of strategies for reaching targets and overcoming obstacles under varying environmental conditions. In this work, a drone simulation was developed using fundamental RL algorithms, Q-learning and Deep Q-Learning (DQL), with different target coordinates and mission scenarios. The simulations, conducted in MATLAB and Simulink environments, include Z-axis movement, three-axis (X, Y, Z) path tracking, and multi-stage target transitions. The drone's learning process was guided by an epsilon-greedy exploration strategy and reward functions. Evaluations were performed using Q-table updates, total reward values, success rates, and learning curves. The results obtained from the simulations demonstrate a clear trend of success in the learning process. Low reward values were observed in the initial episodes, but rewards increased over time. As the epsilon value decreased, the drone exhibited more stable and exploitative behaviors (i.e., applying what it had learned). Notably, in the final episodes, the drone's target achievement rate exceeded 90%, and the total number of steps decreased significantly. Vertical movements along the Z-axis were the most successfully learned patterns, while complex directional changes along the Y-axis made the learning process more challenging. This indicates that the drone's process of recognizing complex environmental interactions, especially in the horizontal plane, takes longer. Nevertheless, the system's success trend was clearly demonstrated through visual animations and reward graphs. The system developed in this study clearly demonstrates the applicability and effectiveness of reinforcement learning in autonomous drone mission planning. RL algorithms enable drones to make effective decisions even in environments with high uncertainty and variability, reducing the need for human intervention. Furthermore, the reusability of strategies learned with these methods in different missions demonstrates the sustainability of the algorithms. Future work aims for real-time applications, multi-drone systems, and integration with advanced deep learning-based architectures.

Keywords: Reinforcement Learning, autonomous Drone, mission Planning, q-learning, dql (deep Q-learning), simulation

MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF PROBIOTIC LABELED FOOD PRODUCTS SOLD IN THE MARKET

BURCU İPEK

Erzincan University, Institute Of Science, Food Engineering

ipekkburcu@gmail.com

Assist. Prof. Dr. MEHMET ÇAĞLAR FIRAT

Erzincan University, Tourism And Hotel Management Vocational School, Hotel, Restaurant And
Cause Services

mcfirat@erzincan.edu.tr

Abstract

Nutrition is the basis of human life, and the developing food market presents us with the concept of functional food. With the introduction of functional foods into our lives, people do not only meet their nutritional needs through food consumption, but also desire to see health-improving effects from food. With the increasing interest in functional foods today, probiotic products have come to the forefront, especially due to their positive effects on human health. Many studies conducted in recent years have concluded that dairy products are the best medium for administering probiotics. However, lactose intolerance, high fat and cholesterol, milk allergies, and also the increasing tendency towards vegetarianism have encouraged research in the field of non-dairy probiotic products. For this reason, especially fruit-vegetable origin and grain-based probiotic foods have increased in the market in recent years. The contributions of probiotic microorganisms to the host gastrointestinal system, their potential to support the immune system and prevent various diseases have brought these products to an important position in terms of both academic research and commercial production. As stated in the Turkish Food Codex, a food must contain a minimum of 10^6 cfu/g or cfu/ml probiotic bacteria to be considered probiotic. Accordingly, this study examined the microbiological evaluation of probiotic labeled food products commercially available on the Turkish market and the relevant bacterial counts. The strains declared on the product labels were attempted to be determined by phenotypic and biochemical tests, and no definitive identification was made. Within the scope of the study, microorganisms isolated from probiotic labeled products obtained from different sales points were purified, other colonies were eliminated, and colony counts of the specified strains were performed. 19 different products were examined in the study, and it was determined that the relevant bacterial counts in 5 products did not comply with the Turkish Food Codex. All dairy products were verified, but the required bacterial counts could not be verified in jam, tea, granola, bar, and halva products. Although the findings provide a general impression, they cover similar results when compared with literature data.

Keywords: Probiotic Food, Microbiological Analysis, Turkish Food Codex

FACILITATING DEVICE TREE GENERATION WITH A LOW-CODE DEVELOPMENT APPROACH

MEHMET SAMET HAKUT

Ege University, Institute Of Science, International Computer Institute
msamet.hakut@proton.me

Prof. Dr. GEYLANİ KARDAŞ

Ege University, Institute Of Science, International Computer Institute
geylani.kardas@ege.edu.tr

Abstract

Embedded software developers may encounter difficulties during the preparation of the device trees (DTs) frequently used in embedded system software development since DTs have a syntax that is different from existing programming languages. Model-driven engineering and low-code development methods that support it, used in many areas, can help reduce the difficulties encountered in DT development. Hence, this study introduces a software development platform called LCDP4DT that enables low-code development of DT software in embedded systems. First, a metamodel and the syntax definitions that use it were made for an environment where users can visually create DT configurations. The process of creating DT models from different viewpoints with this introduced graphical syntax and automatically generating the necessary DT software from these models is also exemplified in the paper through a case study. LCDP4DT, which offers users the opportunity to develop DTs online and collaboratively, is discussed in the paper, along with its differences from other existing approaches and its potential to shorten development time, reduce error rates, and provide ease of maintenance.

Keywords: Lcdp4dt, Device Tree, Low-code Development, Model-driven Engineering

DETERMINATION OF THE STRESS INTENSITY FACTOR IN FRACTURE MECHANICS

NADİDE SİNEM ALAGÖZ

Yıldız Technical University, Engineering, Civil Engineering
nadide.alagoz@std.yildiz.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. AYŞE ERDÖLEN

Yıldız Technical University, Engineering, Civil Engineering
erdolen@yildiz.edu.tr

Abstract

In civil engineering, fracture refers to the failure of a structural element to maintain its load-bearing capacity under applied loads, resulting in separation into one or more parts. Fracture mechanics is the branch of engineering that investigates these damage processes. In order to reliably evaluate fracture behavior from an engineering perspective, both the deformation properties of the material and the stress distribution around the crack tip must be considered. In this context, fracture strength is defined as the maximum stress level a material can withstand under a given load, either to initiate a new crack or to propagate an existing one. Within the framework of fracture mechanics theory, fracture strength evaluations commonly employ parameters such as the stress intensity factor (K), energy release rate (G) and critical fracture toughness (K_{IC}). The stress intensity factor (K) characterizes the stress state near the crack tip and is classified based on crack type as Mode I (opening mode), Mode II (sliding mode), and Mode III (tearing mode). Another key parameter, the energy release rate (G), represents the energy expended per unit crack surface area during crack propagation. In a loaded system, as long as the crack remains stable, the resulting elongation (v) is proportional to the applied force. This force varies in direct proportion to both stiffness (k) and displacement. The stiffness of the system is inversely proportional to the material's compliance (c), a property that indicates the material's flexibility. A widely used experimental method for determining the fracture toughness of a material is the Single Edge Notched Bend (SENB) test. The SENB test is preferred particularly for brittle or semi-brittle materials because it provides a reliable and standardized approach for measuring fracture toughness (K_{IC}). Its practical applicability and ability to enable controlled crack growth observation make this method prominent in fracture mechanics studies. This study aims to calculate the fracture resistance (fracture toughness) of materials. To this end, experimental results obtained from the thesis project titled "Determination of Fracture Resistance of Injection Material Used in the Strengthening of Historical Structures under Uncertainty" (Project No: FBA-2023-5437), conducted within the scope of a General Research Project (GAP), were used. The experimental data collected in the mentioned thesis were analyzed separately using two different data processing tools Excel and MATLAB to calculate fracture toughness values. The obtained results were compared, and the influence of the data processing tools on the calculations was evaluated.

Keywords: Fracture Mechanics, Fracture Toughness (k_{ic}), Stress Intensity Factor (k), Energy Release Rate(g), Compliance, Senb Test, Data Analysis, Matlab, Excel

INVESTIGATION OF SOME FUEL PROPERTIES OF CAMELINA (CAMELINA SATIVA) BIODIESEL, NANNOCHLOROPSIS GADITANA BIODIESEL, AND DIESEL FUEL BLENDS

Assoc. Prof. Dr. SEDA ŞAHİN

Selçuk University, Faculty Of Agriculture, Agricultural Machinery And Technology Engineering
sedabacak@selcuk.edu.tr

CENNET SIRLI

Selçuk University, Institute Of Science, Agricultural Machinery And Technology Engineering
kadirsirli@hotmail.com

Abstract

In this study, various fuel blends were prepared by mixing camelina (*Camelina sativa*) biodiesel, *Nannochloropsis gaditana* microalgae biodiesel, and petroleum diesel at different volumetric ratios. The blends were designated based on the type and proportion of biodiesel used: K10D90 (10% camelina + 90% diesel), K20D80 (20% camelina + 80% diesel), K10N10D80 (10% camelina + 10% *Nannochloropsis* + 80% diesel), K20N20D60 (20% camelina + 20% *Nannochloropsis* + 60% diesel), K50N50 (50% camelina + 50% *Nannochloropsis*), N10D90 (10% *Nannochloropsis* + 90% diesel), and N20D80 (20% *Nannochloropsis* + 80% diesel). For each sample, density (at 15 °C), kinematic viscosity (at 40 °C), and lower heating value (LHV, cal/g) were measured. The results revealed that increasing the biodiesel content significantly affected the fuel properties. In particular, as the ratio of camelina biodiesel increased, the density of the fuel rose from 807.0 g/cm³ to 857.1 g/cm³, while its viscosity increased from 2.95 mm²/s to 4.98 mm²/s. Conversely, the lower heating value decreased from 10460 cal/g to 9372 cal/g. Compared to the K10D90 blend, the K50N50 mixture, which contained 50% camelina and 50% microalgae biodiesel, exhibited notably higher density and viscosity values. The contribution of *Nannochloropsis* biodiesel also led to increases in density and viscosity, albeit to a lesser extent than camelina biodiesel. Interestingly, blends containing only microalgae biodiesel showed higher lower heating values than other samples. Among all formulations, the N20D80 blend displayed the highest energy content with a value of 10711 cal/g. These findings indicate that the physical and thermal properties of biodiesel blends vary considerably depending on the type and proportion of biodiesel used. Furthermore, it is concluded that biodiesels derived from camelina and microalgae can be blended with petrodiesel to produce compatible and potentially environmentally friendly alternative fuels. Further research is recommended to investigate the effects of using multiple biodiesel sources on engine performance and combustion efficiency.

Keywords: Biodiesel, Camelina, Microalgae

DEVELOPMENT OF A LOW-LACTOSE, HIGH-PROTEIN AYRAN-LIKE FUNCTIONAL BEVERAGE USING CURD CHEESE, YOGURT, AND YOGURT WHEY

HANDE BOYHAN

Yıldız Technical University, Faculty Of Chemical-Metalurgia, Food Engineering
hande.boyhan@std.yildiz.edu.tr

Assist. Prof. Dr. ASLI MUSLU CAN

Biruni University, Faculty Of Applied Sciences, Department Of Gastronomy And Culinary Arts
acan@biruni.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. HASAN CANKURT

Yıldız Technical University, Faculty Of Chemistry-Metalurgia, Food Engineering
hasan.cankurt@yildiz.edu.tr

Abstract

In recent years, the food industry has been increasingly focusing on healthy, functional and sustainable products. In this context, high-protein, low-fat and easily digestible functional beverages have attracted particular attention when consumer demands are considered. Ingredients derived from milk and dairy products have significant potential in the development of such beverages. The aim of this study was to produce a protein-rich, buttermilk-like, functional beverage using curd cheese, yogurt and yogurt whey. Curd cheese is a dairy industry by-product obtained by heating whey, which has a short shelf life and is generally considered to have low added value. However, it has a high nutritional value thanks to the serum proteins it contains. Another source of waste in the industry is yogurt juice. This liquid, which is released during the production of strained yogurt, is often seen as waste despite its protein, lactic acid, mineral and vitamin content and can create an environmental burden. In this study, it was aimed to utilize the waste by-products and a new beverage with high functional and economic value was developed. Within the scope of the study, curd cheese, yogurt and yogurt juice were mixed in different ratios to produce drinks in 6 different formulations. All products were analyzed for pH, titratable acidity, total dry matter, protein, fat, lactose, color, serum separation, lactic acid, total lactic acid bacteria. Sensory analysis (taste, consistency, odor, general taste) was also performed. This product offers an alternative for individuals in need of protein supplementation and contributes to the value-added of the by-products of the dairy industry (lor cheese and yogurt juice). This study demonstrates a positive approach in terms of economic and environmental sustainability. As a result, the developed buttermilk-like beverage can be considered as an innovative product for the functional food market.

Keywords: Curd Cheese, Yogurt Whey, Functional Beverage, High Protein, Sustainability

DESIGN OF POLYURETHANE FILMS PRODUCED FROM SUSTAINABLE MATERIALS

ESAT GÜNER DEMİRBİLEK

Marmara University, Institute Of Science, Polymer Science And Technology
esat.demirbilek@marmara.edu.tr

Prof. Dr. NİLHAN KAYAMAN APOHAN

Marmara University, Faculty Of Science, Chemistry
napohan@marmara.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. BURCU OKTAY

Marmara University, Faculty Of Science, Chemistry
burcu.oktay@marmara.edu.tr

Abstract

Global warming, climate change, and environmental pollution are among today's most serious global challenges, and the rapid depletion of fossil fuels along with the environmental impacts of chemicals derived from these fuels have made the use of natural and sustainable resources imperative. In this context, bio-based polyurethanes represent promising eco-friendly alternatives capable of replacing petroleum-derived polyurethanes. Owing to their superior properties such as flexibility, durability, and chemical resistance, polyurethanes find broad application across various industries. In this study, prepolymers were synthesized using vegetable oil-derived bio-based polyols and petrochemical isocyanates, and these prepolymers were subsequently modified with bio-based chain extenders. By varying the proportions of polyol, isocyanate, and chain extender, the effects of these components on the mechanical and thermal properties of the resulting polyurethane films were investigated. The primary objective of this work is to synthesize high bio-content polyurethane films, to perform a detailed structural characterization, and to evaluate their potential for industrial applications. Additionally, the performance of the bio-based films was compared with that of conventional petroleum-based polyurethanes.

Keywords: Sustainable, Polyurethane, Bio-based

FULL TEXT PAPERS

In this area, there are full-text papers sent to the ICONIL 2025 SPRING congress that meet the conditions of the congress.

YÜKSEK HIZLI ULAŞIMIN GELECEĞİ HYPERLOOP (HIZYUVAR) TEKNOLOJİSİNİN TEKNİK ALTYAPISI, EMNİYETİ, STANDARTLARI VE REGÜLASYONEL ÇERÇEVESİ

BURAK KOÇ

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü

burakoc@outlook.com.tr, ORCID: 0000-0002-8867-8355

Doç. Dr. AHMET MAVİ

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü

amavi@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0339-2639

Özet

Bu çalışma, Hyperloop (Hızıuvar) teknolojisinin teknik altyapı, emniyet, teknik standartlar ve regülasyonlar bağlamında kapsamlı bir değerlendirmesini sunmaktadır. Yenilikçi yapısıyla Hyperloop, düşük basınçlı tüpler ve manyetik kaldırma sistemlerini bir araya getirerek yüksek hızlı, enerji verimli ve çevre dostu bir ulaşım çözümü sunmaktadır. Ancak, bu sistemin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için öncelikli olarak emniyet, teknik standartlar ve düzenleyici çerçevelerin belirlenmesi gerekmektedir. Hyperloop'un emniyeti, geleneksel taşımacılık sistemlerinden farklı bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Ön tehlike analizleri, otomatik kontrol sistemleri ve siber güvenlik protokolleri, teknolojinin güvenilirliği için kritik öneme sahiptir. Teknik standartlar açısından, malzeme dayanıklılığı, enerji verimliliği ve yolcu ergonomisi gibi unsurların uluslararası düzeyde standartlaştırılması gerekmektedir. Regülasyonlar bağlamında, Hyperloop'un yasal statüsü hem ulusal hem de uluslararası düzeyde yeni düzenlemelerle desteklenmelidir. Hyperloop, geleceğin ulaşım sistemi olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin gerçekleştirilmesi, emniyet önlemleri, teknik standartlar ve düzenleyici çerçevelerin etkili bir şekilde uygulanmasına bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Hyperloop Emniyeti, Üst Seviye Ray Ötesi Sistemler, Ulaşımın Geleceği

THE TECHNICAL READINESS, SAFETY, STANDARDS AND REGULATORY FRAMEWORK OF HYPERLOOP TECHNOLOGY IN THE FUTURE OF HIGH-SPEED TRANSPORTATION

Abstract

This study provides a comprehensive evaluation of Hyperloop technology in terms of its technical readiness, safety, technical standards, and regulatory frameworks. With its innovative structure, Hyperloop combines low-pressure tubes and magnetic levitation systems to offer a high-speed, energy-efficient, and environmentally friendly mode of transportation. However, for the successful implementation of this system, it is essential to first establish safety measures, technical standards, and regulatory frameworks. The safety of Hyperloop requires a fundamentally different approach compared to conventional transportation systems. Preliminary hazard analyses, automated control systems, and cybersecurity protocols are of critical importance for ensuring the system's reliability. In terms of technical standards, elements such as material durability, energy efficiency, and passenger ergonomics must be standardized at an international level. From a regulatory perspective, the legal status of Hyperloop must be supported by new legislation at both national and international levels. Hyperloop holds significant potential as a next-generation transportation system. However, realizing this potential depends on the effective implementation of safety measures, technical standards, and a coherent regulatory framework.

Keywords: Hyperloop Safety, Top Level Sur-Rail System, Future of Transportation

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan ulaşım talebi ve mesafelerin kısaltılma isteği, yeni ve yenilikçi ulaşım sistemlerine duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Karayolu, demiryolu ve havayolu taşımacılığında ortaya konan gelişmelere rağmen; trafik sıkışıklığı, uzun seyahat süreleri, enerji maliyetleri, kaza

oranları ve çevresel sorunlar halen önemli problemler olarak karşımızda durmaktadır. Bu problemlere çözüm arayışında geleneksel yüksek hızlı trenler ve manyetik levitasyonlu trenler (maglev), karada daha yüksek hız ve konfor sunarak ulaşım alanında çığır açmıştır. Son yıllarda ise Hyperloop adı verilen yeni bir konsept, kara taşımacılığında yenilikçi bir yüksek hızlı ulaşım sistemi olarak ortaya çıkmıştır.

Hyperloop ilk kez 2013 yılında Elon Musk tarafından konsept olarak tanıtılmıştır. Bu sistem, temel olarak düşük hava basıncına indirilmiş bir tüp içinde ilerleyen ve manyetik olarak havada tutulan kapsüller aracılığıyla yolcu veya yük taşınmasını öngörmektedir (Virgin Hyperloop, 2021). Hyperloop'un amacı, hava direncini ve sürtünmeyi neredeyse ortadan kaldırarak ses ötesi hızlara ulaşmaktır (Virgin Hyperloop, 2021). Teorik olarak 1000 km/sa ve üzeri hızlara erişebilecek Hyperloop sistemi, kıtalar arası mesafeleri dahi çok kısa sürelerle indirme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, Hyperloop'un kağıt üzerindeki avantajlarını hayata geçirebilmek için kapsamlı bir mühendislik, emniyet ve politika çerçevesine ihtiyaç vardır.

Teknik altyapının iyileştirilmesi, emniyet önlemleri ve standartlarının belirlenmesi ile düzenleyici (regülasyonel) çerçevenin oluşturulması, bu yeni ulaşım türünün hayata geçirilebilmesinin önemli adımlarıdır. Bu makalede, Hyperloop teknolojisinin teknik bileşenleri ele alınmış; emniyet kriterlerine ve teknik standartlara yönelik gereksinimler incelenmektedir. Ayrıca Hyperloop'un yasal statüsü ve regülasyonel çerçevesi değerlendirilerek, geleneksel sistemlerle karşılaştırması ve çevresel etkileri analiz edilmektedir. Son olarak, elde edilen bulgular ışığında Hyperloop'un gelişebilmesi için gereken adımlar ve geleceğe yönelik öngörüler Sonuç bölümünde sunulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışmada betimsel analiz yöntemi kullanılmıştır. Literatür taraması yoluyla Hyperloop teknolojisine ilişkin bazı teknik raporlar, uluslararası standart dokümanları (CENELEC, IEC, ISO), regülasyonel çerçeveler ve akademik yayınlar derlenmiş; sistemin yapısal, emniyet ve düzenleyici bileşenleri sistematik biçimde incelenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Hyperloop Sisteminin Yapısı

Hyperloop sistemi, birbirini tamamlayan birkaç temel bileşenden oluşan bütünlük bir altyapı ve araç teknolojisidir. Bu yapıyı anlamak için sistemin ana unsurlarını ve çalışma prensibini incelemek gerekir:

Tüp (Tünel) Altyapısı: Hyperloop'un en ayırt edici unsuru, içi neredeyse havasız hale getirilmiş tüp şeklindeki yapısıdır. Genellikle çelik veya beton malzemeden inşa edilen bu tüneller, atmosfer basıncının yaklaşık binde biri basınca kadar vakumlanmaktadır. Vakum koşullarını sürdürmek için endüstriyel vakum pompaları ve hava sızdırmaz kapılar (valfler) kullanılır. Olası sızıntıları algılayacak sensörler ve yedek pompa sistemleri de tüp altyapısının hayati bileşenleridir. Altyapı genellikle yerden yükseltilmiş viyadükler üzerinde inşa edilir, ancak kentsel alanlarda veya coğrafi engellerde yeraltı tünelleri de kullanılabilir. Tüp hattı olabildiğince düz ve düşük eğimli tasarlanır.

Kapsül (Pod) Tasarımı: Hyperloop kapsülleri, tüp içinde yolcu veya yük taşıyan aerodinamik araçlardır. Kapsülün formu, yüksek hızda minimum hava direnci yaratacak şekilde genellikle uzun ve silindirik olarak tasarlanır. İçinde yolcular için koltuklar, yaşam destek sistemleri ve gerekli emniyet ekipmanları bulunur. Araç içerisinde basıncın ve oksijen seviyesinin normal atmosfer koşullarında tutulması gerekir; dolayısıyla kapsül gövdesi bir nevi basınçlı kabin (uçaklardakine benzer) olarak imal edilir. Kapsülün alt kısmında veya yanlarında manyetik levitasyon (manyetik kaldırma) sağlayan mıknatıs düzenekleri ve ileri-itki sağlayan motor sistemlerine etkileşimli kısımlar bulunur.

İtici ve Levitasyon Sistemi: Hyperloop'ta kapsüllerin hareketi ve ray temasının olmaması, elektromanyetik sistemler sayesinde gerçekleştirilir. Birçok tasarımda manyetik levitasyon kullanılarak kapsül raylara temas etmeksizin havada gider. Bazı konseptlerde ise başlangıçta hava yatakları (air bearings) önerilmiş olsa da, günümüzde çoğu prototip aktif veya pasif manyetik levitasyon teknolojisine yönelmiştir. Kaldırma kuvveti için kapsülün altına yerleştirilen mıknatıslar ile tüp boyunca uzanan

iletken yüzey etkileştirilir; böylece kapsül, mekanik sürtünme olmadan raydan yukarıda havada tutulur. İleri yönde hızlanma ise lineer elektrik motorları ile sağlanır. Lineer motor tasarımında ya tüpün belirli aralıklarına elektromıknatıslar (stator) döşenir ve kapsül üzerinde bunlarla etkileşen mıknatıslar bulunur, ya da tersine kapsül üzerinde motor sargıları yer alıp tüp üzerinde iletken levhalar bulunur. Her iki durumda da manyetik itme/çekme kuvvetleriyle kapsül ileri doğru hızlandırılır veya yavaşlatılır.

İstasyonlar ve Geçiş Sistemleri: Hyperloop ağının kullanışlı olabilmesi için başlangıç ve varış noktalarında özel tasarlanmış istasyonlar bulunur. İstasyonlar, kapsüllerin güvenli şekilde yolcu alıp indirebilmesi için hava kilidi (airlock) mekanizmalarıyla donatılmıştır. Bu hava kilidi sistemi, kapsül istasyona yaklaşırken istasyon girişindeki bölmeyi basınç bakımından tüple eş hale getirir. Kapsül istasyona girmeden önce tüp içindeki vakum korunarak küçük bir ara odaya alınır; ardından bu odanın basıncı yavaşça dış atmosfer seviyesine yükseltilir ve kapsül istasyona geçiş yapar. Bu sayede tüpün geneli vakumlu kalırken sadece küçük bir bölge basınçlandırılarak yolcuların inip binmesi sağlanır. Benzer süreç kapsül kalkışı için de tersine uygulanır: Yolcular bindikten sonra kapsül bir hava kilidine alınır, oda tekrar vakumlanır ve kapsül ana hatta salınır.

Kontrol ve Haberleşme Sistemleri: Yüksek hızlı ve insansız bir işletim öngören Hyperloop'ta, tüm sistem entegre bir dijital kontrol ağı ile denetlenir. Kapsüllerin konum, hız ve durum bilgileri sürekli olarak kontrol merkezine iletilir. Tüp boyunca yerleştirilen sensörler basınç seviyelerini, sıcaklığı, yapısal gerilmeleri ve kapsül geçişlerini izler. Gelişmiş bir otomatik kontrol yazılımı kapsüller arasındaki mesafeyi emniyetli seviyede tutar, hız profillerini optimize eder ve gerektiğinde acil durdurma komutları verebilir (HyperloopTT, 2019). Bu sistem aynı zamanda rotadaki herhangi bir anormalliği (örneğin tüpte basınç artışı, yabancı cisim, deprem sarsıntısı) anlık takip ederek alarm üretebilir. Kontrol sistemleri siber güvenlik protokolleriyle korunur, zira böyle kritik bir altyapıda dış müdahaleler veya yazılım hataları felakete yol açabilir. Bu nedenle Hyperloop'un kontrol/yönetim yazılımı ve ağ altyapısı, havacılık ve demiryolu sektörlerindeki yüksek emniyet bütünlüğü standartlarına uygun geliştirilir.

Yukarıdaki bileşenler bir araya gelerek Hyperloop sisteminin teknik altyapısını oluşturmaktadır. Bir Hyperloop hattının başarılı şekilde çalışabilmesi, tüm bu unsurların uyum içinde işlemesine bağlıdır. Örneğin, vakum seviyesinin korunması manyetik levitasyonun etkinliğini doğrudan etkiler; ya da kontrol sistemlerinin hassasiyeti, kapsüllerin güvenli aralıklarla yüksek hızda seyahat edebilmesinin anahtarıdır. Bu nedenle Hyperloop tasarımı bir sistem mühendisliği yaklaşımı gerektirir. Sonraki bölümlerde, bu teknik yapının emniyetinin nasıl sağlanabileceği, standardizasyonun neden gerekli olduğu ve yasal çerçevenin nasıl şekillendiği detaylandırılacaktır.

3.2. Emniyet Önlemleri Ve Risk Yönetimi

Hyperloop emniyeti, gerek tasarım gerekse işletme açısından dikkatle ele alınmalıdır. Geleneksel sistemlerden farklı bir risk profili olması nedeniyle, Hyperloop için özel emniyet önlemleri ve yönetim sistemleri geliştirmek gereklidir. Öncelikle, projenin ilk tasarım aşamalarından itibaren Ön Tehlike Analizleri (Preliminary Hazard Analysis) ve Risk Değerlendirmeleri yapılmalıdır. Bu çalışmalar, potansiyel tehlike kaynaklarını (örneğin tüp sızdırmazlık kaybı, güç kesintisi, kontrol sistemi arızası, kapsül çarpışması) önceden belirleyip bunlara karşı alınacak tedbirleri planlar. Ayrıca Emniyet Yönetim Sistemi (EYS) yaklaşımı, Hyperloop işletmesinde hayati öneme sahip olacaktır. Tıpkı havacılık ve demiryolu sektörlerinde olduğu gibi, Hyperloop işletmecileri de sistematik bir emniyet yönetim çerçevesi kurmalıdır. Bu kapsamda, düzenli bakım ve denetimler, personel eğitimi (her ne kadar operasyonlar büyük oranda otomatize olsa da acil durum ekipleri ve denetçiler için eğitim şarttır) ve sürekli iyileştirme döngüsü temel unsurlardır.

Acil durum prosedürleri Hyperloop'ta ayrıntılı olarak tanımlanmalıdır. Tahliye senaryoları da bir diğer kritik konudur. Bir kapsül tüp içerisinde arıza yaparsa veya elektrik kesintisiyle durursa, yolcuları kurtarmak zorlu bir durum olabilir. Bu nedenle, belirli mesafelerde tüp boyunca acil çıkış veya müdahale noktaları planlanabilir; bakım personelinin girebileceği ara bölmeler veya kapsülün gerektiğinde basınçlandırılıp yolcuların bir kurtarma kapsülüne transfer edilmesi gibi yöntemler tartışılabilir.

Siber güvenlik de Hyperloop emniyetinin ayrılmaz bir parçasıdır. Kapsüllerin kontrolü ve altyapının işletimi yoğun olarak dijital sistemlere dayandığından, dışarıdan müdahaleler veya virüs saldırıları felaketle sonuçlanabilir. Bunu önlemek için ağ izolasyonu, şifreleme, çok katmanlı güvenlik duvarları ve düzenli sızma testleri gibi önlemler alınabilir. Sistem yazılımları, IEC 61508 veya demiryolu sektöründe kullanılan CENELEC EN 50716/50129 gibi uluslararası emniyet standartlarına uygun geliştirilir (IEC, 2010).

Sonuç olarak, Hyperloop'un emniyeti, çok yönlü risk yönetimi ve çok katmanlı teknik önlemlerin bir arada uygulanmasıyla sağlanabilir. Ulaşım sektörü geçmişte edindiği dersleri (örneğin hava yastıkları, otomatik fren sistemleri, acil durum çıkışları gibi konseptleri) Hyperloop'a uyarlayacak; ancak aynı zamanda bu yeni sistem için özelleşmiş çözümler de geliştirecektir. Emniyetli bir Hyperloop işletimi için uluslararası bilgi paylaşımı, test programları ve simülasyon çalışmaları büyük önem taşır. Mermoud ve Fevrier (2022), ilk ticari Hyperloop sistemleri devreye girmeden önce çok sayıda prototip testinin ve emniyet sertifikasyon sürecinin tamamlanması gerektiğini vurgulamaktadır.

3.3. Teknik Standartlar

Her yeni teknolojide olduğu gibi, Hyperloop'un başarılı bir şekilde yaygınlaşması için teknik standartların belirlenmesi ve uluslararası düzeyde kabul görmesi kritik önem taşır. Standartlar, farklı kurum ve şirketlerin geliştirdiği sistemlerin birbiriyle uyumlu, emniyetli ve belirli asgari kalite seviyelerinde olmasını garanti eden kurallar bütünüdür. Hyperloop söz konusu olduğunda, bu standartlaşma çabası çok disiplinli bir yaklaşım gerektirir; çünkü sistem hem demiryolu, hem havacılık, hem de altyapı mühendisliği alanlarından çeşitli yönler barındırmaktadır.

Öncelikle fiziksel boyutlar ve arayüzler için standartlara ihtiyaç vardır. Örneğin, tüp çapı, kapsül dış boyutları, ray/levitasyon yolu genişliği gibi parametrelerin belirli bir standarda oturması, gelecekte farklı üreticilerin kapsüllerinin farklı hatlarda çalışabilmesini mümkün kılacaktır. Aksi takdirde her firma kendine özgü ebat ve tekniklerle bir Hyperloop hattı inşa ederse, bu hatlar arasında birlikte çalışabilirlik sağlamak güçleşir. Tarihsel olarak demiryolu sektöründe farklı hat açıklığı (hat genişliği) veya elektrik sistemi kullanan ülkelerin entegrasyonda yaşadığı sıkıntılar düşünüldüğünde, Hyperloop için en baştan ortak standartlar belirlemenin önemi açıktır.

Bununla birlikte, standartlar yalnızca boyutlarla sınırlı değildir. Malzeme dayanımı, bileşen kalitesi ve test yöntemleri için de standartlar oluşturulmalıdır (TUM Hyperloop, 2023). Enerji verimliliği de önemli bir başlıktır. Hyperloop sisteminin tükettiği enerjinin belirli bir verim seviyesinde olması, enerji yönetim standartlarıyla teşvik edilebilir.

Hyperloop özelinde standart geliştirme çalışmaları halihazırda başlamış durumdadır. Avrupa'da Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) ve Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) bünyesinde 2020 yılında kurulan Ortak Teknik Komite JTC 20 doğrudan Hyperloop sistemleriyle ilgili standartlar üzerinde çalışmaktadır. Bu komitenin amacı, Hyperloop'un Avrupa genelinde ortak bir metodoloji ve çerçeve ile tanımlanmasını, böylece hem yüksek güvenlik düzeyine ulaşılmasını hem de üye ülkeler arasında tutarlılık sağlanmasını mümkün kılmaktır. Nitekim JTC 20, araç sistemleri, tüp altyapısı, operasyon ve iletişim protokolleri gibi alt çalışma gruplarına ayrılarak çeşitli alanlarda standart tasarımları hazırlamıştır. Örneğin, CEN/CLC Technical Report 17912:2023, Hyperloop sistemleri için farklı mühendislik alanlarındaki mevcut standartları inceleyen ve ihtiyaç duyulan yeni standartlara dair bir yol haritası sunan kapsamlı bir rapordur (CENELEC, 2023). Bunu takiben yayınlanan EN 17930:2024 standardı ise Hyperloop sistemlerine ait referans mimariyi ve temel gereksinimleri tanımlamaktadır (CENELEC, 2024). Bu adımlar, Avrupa'da Hyperloop'u düzenlemek için gerekli teknik altyapının hazırlanmasında önemli kilometre taşlarıdır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde de benzer bir standardizasyon ve norm geliştirme ihtiyacı gündeme gelmiştir. ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2020'li yılların başlarında Hyperloop teknolojisi için mevcut standartların değerlendirilmesi ve boşlukların tespiti amacıyla bir "Hyperloop Standartları İnceleme" raporu hazırlamış; ayrıca yeni teknoloji ulaşım modları için düzenleyici çerçeve oluşturmak üzere ilgili birimler arasında koordinasyon sağlamıştır. ABD'de demiryolu alanındaki düzenleyici otorite olan

Federal Demiryolu İdaresi (FRA), Hyperloop sistemlerini de kendi yetki alanı içine alabileceğini belirtmiş ve güvenlik sertifikasyonu konusunda ilkeler oluşturmaya başlamıştır.

Özetle, Hyperloop'un teknik standartları, sistemin emniyetli ve verimli işleminin temelini oluşturacaktır. Standartlar, yenilikçi çözümlerin önünü tıkamak için değil, aksine tüm dünyanın ortak paydada buluşarak en iyi uygulamaları paylaşması için bir araçtır. Bu sayede Hyperloop geliştiren farklı şirketler ve ülkeler, tekerleği yeniden icat etmeye çalışmak yerine belirlenmiş kriterler doğrultusunda inovasyon yapabilirler. Standartlaşmış bir Hyperloop ekosistemi, bir bölgede geliştirilen kapsülün başka bir bölgedeki hatta da çalışabilmesi, bakım-onarım protokollerinin benzer olması, acil durum prosedürlerinin uyumlu olması gibi çok önemli kazanımlar sağlayacaktır.

3.4. Regülasyonel Çerçeve

Hyperloop'un hayata geçirilmesi sadece mühendislik ve teknik konuların çözülmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda hukuki ve düzenleyici altyapının da oluşturulması gerekir. Mevcut ulaşım mevzuatları, Hyperloop gibi daha önce var olmamış bir sistemi kapsayacak şekilde tasarlanmamıştır. Bu nedenle, hem ulusal düzeyde hem de uluslararası birliklerin Hyperloop'u tanımlayan ve onun güvenli entegrasyonunu sağlayan yeni düzenlemeler geliştirmesi beklenmektedir.

Avrupa Birliği (AB), Hyperloop konusunda proaktif adımlar atmaya başlayan bölgelerin başında gelir. AB'nin 2020 yılında açıkladığı Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi belgesinde, Hyperloop gibi yenilikçi yüksek hızlı ulaşım konseptlerine dikkat çekilmiş ve bunların Avrupa ulaşım ağına kazandırılmasının değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (European Commission, 2020). AB düzeyinde, Hyperloop sistemleri için özel bir yasal çerçevenin hazırlanması hedefi 2020'lerin ortalarına konumlandırılmıştır. AB içerisindeki CEN/CENELEC gibi standardizasyon çalışmalarının çıktıları, muhtemel AB regülasyonları için teknik dayanak oluşturacaktır. Sonuç olarak Avrupa'da yaklaşım, Hyperloop'u şimdiden hukuki bir statüye kavuşturup, özel sektörün önünü açmak ve sınır ötesi uyumluluğu sağlamaktır.

Amerika Birleşik Devletleri tarafında ise düzenleyici çerçeve kademeli şekilde şekillenmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, ABD Ulaştırma Bakanlığı Hyperloop'u resmen tanıma yolunda adımlar atmıştır. 2019'da Bakanlık bünyesinde yeni ve ortaya çıkan ulaştırma teknolojileriyle ilgili bir konsey kurulmuş ve Hyperloop bu kapsamda değerlendirilmiştir. 2021 tarihli büyük altyapı yasasında, Hyperloop sistemlerinin federal düzeyde ele alınacağı ve Federal Demiryolu İdaresi (FRA) tarafından düzenleneceği ifade edilmiştir (Federal Railroad Administration, 2021). Bu önemli bir karardır çünkü Hyperloop'u "demiryolu" kategorisine yakın bir yere yerleştirerek var olan düzenlemelerden faydalanma imkânı doğurur. FRA halihazırda mevcut demiryolu emniyet kurallarının Hyperloop'a uyarlanması üzerine çalışmalar yapmaktadır. Ancak Hyperloop'un özellikleri demiryollarından önemli ölçüde farklı olduğundan, yeni kurallar da yazılacaktır. Şu anki göstergeler, ABD'nin Hyperloop konusunda düzenleyici esnekliği sağlamak adına regülasyon sandbox (kum havuzu) yaklaşımını benimsediğidir; yani geliştiricilere belirli sınırlı koşullar altında deneme yapma izni verip, standartlar olgunlaştıkça kuralları sıkılaştırma yoluna gidilmektedir.

Diğer ülkeler ve bölgelerde de Hyperloop'un yasal statüsü üzerine tartışmalar sürmektedir. Hindistan örneğinde, Maharashtra eyaleti 2018'de Mumbai-Pune Hyperloop hattını bir kamu altyapı projesi olarak tanımış ve bu amaçla bir çerçeve oluşturmuştu. Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) de benzer şekilde Dubai-Abu Dabi arasında planlanan Hyperloop hattı için fizibilite çalışmaları yaptırmış ve bu yeni sistemi mevcut ulaşım planlarına entegre edebilmek için regülasyon araştırmalarına başlamıştır. Çin, Hyperloop benzeri vakumlu tüp maglev projelerini devlet eliyle yürütmekte ve mevcut demiryolu ile havacılık mevzuatının kesişiminde bir yaklaşım benimsemektedir; henüz ayrı bir Hyperloop yasası olmasa da, devlet desteğiyle yapılan pilot projeler sayesinde teknik kurallar oluşturuluyor ve muhtemelen bunlar ileride resmi standartlara dönüşecektir.

Son olarak, regülasyonel çerçeve tartışılırken çevresel ve toplumsal boyut da göz ardı edilmemelidir. Yasal düzenlemeler, Hyperloop projelerinin Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreçlerini nasıl

tamamlayacağını, gürültü ve titreşim gibi etkilerinin nasıl sınırlandırılacağını da kapsar. Örneğin AB mevzuatında büyük altyapı projeleri belirli çevre kriterlerine uymak zorundadır; Hyperloop hatları da aynı kritiklikte değerlendirilecektir. Toplumsal kabul ve halkın bilgilendirilmesi de regülasyon süreçlerinin bir parçasıdır. Kamu otoriteleri yeni bir teknoloji olan Hyperloop hakkında şeffaf bir iletişim stratejisi izleyerek, emniyet ve faydalar konusunda toplumu ikna etmelidir.

3.5. Geleneksel Sistemler İle Karşılaştırma

Hyperloop'un potansiyelini daha iyi anlamak için, onu halihazırda kullanılan geleneksel ulaşım sistemleriyle karşılaştırmak faydalı olacaktır. Hyperloop; yüksek hızlı trenler, manyetik trenler (maglev), konvansiyonel demiryolları, karayolu ulaştırması ve havayolu gibi alternatiflerle çeşitli boyutlarda kıyaslanabilir. Aşağıda, farklı kriterler bazında Hyperloop ile geleneksel sistemlerin karşılaştırması sunulmuştur:

Hız ve Seyahat Süresi: Hyperloop'un en büyük avantajlarından biri, ulaşmayı hedeflediği hızlardır. Konvansiyonel yüksek hızlı trenler 300-350 km/sa hızlarda çalışabilirken, maglev trenleri 600 km/sa seviyelerine yaklaşabilmektedir. Havayolu ile seyahat ise genellikle 800-900 km/sa hızda (jet uçakları) gerçekleşir. Hyperloop ise teorik olarak 1000 km/sa ile 1200 km/sa gibi hızlara ulaşabilecektir.

Kapasite ve Sıklık: Bir yüksek hızlı tren 400-800 yolcu kapasiteli olabilir. Hyperloop kapsülleri ise daha küçük hacimli araçlar olduğundan tahmini 20-50 yolcu aralığında kapasiteye sahip olacaktır. Ancak Hyperloop konsepti, düşük kapasiteli kapsüllerin yüksek sefer sıklığıyla çalışmasını öngörür. Yani dakikada bir veya birkaç dakikada bir kapsülün istasyondan çıkabildiği, ardışık konvoy mantığında bir operasyon mümkündür. Bu durumda saatlik taşıma kapasitesi geleneksel tren hatlarına yaklaşabilir veya belirli koşullarda aşabilir. Havayolu ile karşılaştırıldığında, uçaklar tipik olarak 150-300 yolcu taşır ancak sefer sıklıkları sınırlıdır ve büyük havaalanlarına bağlıdır. Hyperloop, talebe göre sürekli kapsül akışı sağlayabileceğinden, yoğun hatlarda havayolu taşımacılığının yerini alabilecek kapasiteye ulaşabilir. Yük taşımacılığına gelirse, karayolu kamyonları veya yük trenleri büyük hacimli yükler taşıyabilirken, Hyperloop kargo kapsülleri daha küçük hacimleri çok hızlı taşımak için kullanılabilir; bu da özellikle yükte hafif pahada ağır (örneğin elektronik, acil tıbbi malzeme) kargolar için avantaj sunar.

Emniyet: Ulaşım sistemlerinin güvenlik karneleri incelendiğinde, havayolu ve demiryolu genellikle karayolundan daha emniyetli bulunur (kaza oranları yolcu-km başına düşüktür). Hyperloop, tamamen kapalı bir sistem olduğundan, dış etkenlerden yalıtılmış bir ortam sunar. Bu açıdan bakıldığında, çarpışma riski ve raydan çıkma riski teorik olarak neredeyse sıfıra indirilebilir. Ancak Hyperloop'un risk profili, yüksek hızda vakum ortamında meydana gelebilecek olası arızalara odaklanır. Bu tür bir arıza (örneğin tüpün sızdırmazlığını kaybetmesi) durumunda, yolcuların maruz kalacağı koşullar çok zorlu olabilir. Uçak kabinlerindeki basınç kaybı senaryolarına benzer biçimde, Hyperloop kapsülünün de hızlı tepki veren emniyet sistemlerine ihtiyacı vardır.

Konfor ve Yolcu Deneyimi: Yüksek hızlı trenler ve uçaklar, yolculara belirli bir konfor düzeyi sunacak şekilde tasarlanmıştır. Hyperloop da bu konuda rekabet edebilmelidir. Bir avantajı, kapsülün sabit bir ray veya zemine temas etmemesi sayesinde titreşim ve sarsıntının çok düşük düzeyde olması beklentisidir. Bir diğer konu, Hyperloop kapsüllerinin penceresiz olmasıdır; yolcular camdan dışarıya bakarak yolculuk yapamayacak, belki sadece ekranlardan veya sanal pencerelerden bilgi alabileceklerdir. Bu durum, bazı kişilerde klostrofobi veya rahatsızlık hissi yaratabilir. Konfor açısından bu psikolojik etkenleri azaltmak için kapsül iç tasarımının ferah, aydınlatmasının yumuşak ve bilgilendirme sistemlerinin yolcuları rahatlatıcı şekilde olması önerilmektedir.

Maliyet ve Ekonomik Fizibilite: Bir ulaşım sisteminin başarısını belirleyen kritik faktörlerden biri de ekonomikliktir. Yüksek hızlı tren projeleri ve metro sistemleri genellikle yüksek başlangıç yatırımları gerektirir, ancak işletme maliyetleri uzun vadede dengelenir ve topluma ekonomik faydalar sağlar. Hyperloop için de benzer bir durum söz konusudur, ancak belirsizlikler daha fazladır. Altyapı maliyetleri bakımından, Hyperloop tüplerinin inşası ciddi mühendislik ve malzeme yatırımı gerektirir. Kilometre başına maliyetin, başlangıç aşamasında yüksek hızlı tren raylarına yakın veya daha da yüksek

olabileceği tahmin edilmektedir. Karşılaştırma için, manyetik levitasyonlu tren hatlarının km başına maliyeti geleneksel demiryolunun birkaç katıdır; Hyperloop'ta ise vakum sistemi ve hava kilitleri gibi ekler bu maliyeti daha da artırabilir. İşletme maliyetleri açısından bakıldığında, Hyperloop tamamen elektrikle çalışacak bir sistemdir. Eğer enerji yenilenebilir kaynaklardan sağlanırsa yakıt maliyetleri ve karbon vergileri açısından avantajlı olabilir. Ayrıca otomatik işletim sayesinde personel maliyetleri (örneğin sürücü masrafı) düşük olacaktır. Genel olarak, teknoloji olgunlaştıkça maliyetlerin düşmesi beklenir.

Çevresel Etki: Hyperloop, elektrik enerjisi kullandığı ve rejeneratif (enerji geri kazanımlı) frenleme potansiyeli olduğu için, işletme aşamasında son derece düşük karbon ayakzine sahiptir. Blanco, Sánchez ve Moreno (2021), Hyperloop'un uçak ve hızlı trenlere kıyasla daha düşük karbon salımı sağladığını; ancak inşaat sürecindeki emisyonların dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu anlamda Hyperloop projeleri, tıpkı hızlı tren veya otoyol projeleri gibi, yapım aşamasında çevresel etki yaratır. Gürültü konusunda Hyperloop'un dış ortama çok daha az gürültü yaydığı düşünülmektedir; trenlerin hava sürtünmesiyle oluşturduğu uğultu veya uçakların motor gürültüsü, Hyperloop tüpü tarafından yutulacaktır. Bu, şehir yakınlarındaki hatlarda önemli bir avantaj olabilir.

Yukarıdaki kıyaslamalar özetle gösteriyor ki, Hyperloop bazı alanlarda bariz üstünlük sağlarken bazı alanlarda ise ancak zamanla görebileceğimiz soru işaretleri barındırıyor. Hız ve verimlilikte Hyperloop potansiyel olarak rakipsizdir; emniyet ve konfor alanında doğru tasarım ile en az mevcut sistemler kadar iyi olabilir; ekonomi ve uygulanabilirlik konusunda ise henüz kendini kanıtlaması gerekmektedir.

4. SONUÇ

Hyperloop teknolojisi, bu makalede detaylı olarak incelenen teknik, emniyet, standart ve çevresel boyutlarıyla ulaşım alanında devrimsel bir potansiyel barındırmaktadır. Düşük basınçlı tüpler içinde manyetik olarak süzülen kapsüller fikri, yakın geçmişe kadar bilim kurgu gibi görünse de, günümüzde dünyanın dört bir yanında mühendisler ve bilim insanları tarafından somut bir gerçekliğe dönüştürülmeye çalışılmaktadır. Ancak, konseptin olgunlaşıp pratik bir ulaşım ağı haline gelmesi için aşılması gereken önemli adımlar vardır.

Yapılan analizler, Hyperloop'un başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için üç temel sütun üzerinde durmaktadır: emniyet, standartlar ve düzenleyici çerçeve. Bu üç alan birbiriyle ilişkili şekilde geliştirilmelidir. Öncelikle, sistemin emniyeti asla taviz verilmeyecek bir öncelik olmalıdır. İlk ticari Hyperloop uygulamalarının güvenli ve sorunsuz bir işletim geçmişi oluşturması, kamuoyunun ve yatırımcıların güvenini kazanmak açısından şarttır. Teknik standartlar boyutunda global düzeyde koordinasyon devam etmelidir. CEN-CENELEC JTC20 gibi girişimler Avrupa için önemli bir temel atmıştır; benzer şekilde IEEE, ASTM veya ISO gibi uluslararası standart kuruluşları da Hyperloop'a yönelik çalışma grupları oluşturabilir. Düzenleyici çerçeveye ilişkin olarak, hükümetlere ve uluslararası kurumlara birkaç önemli tavsiyede bulunulabilir. Birincisi, yasal belirsizliklerin giderilmesi için mümkün olan en kısa sürede Hyperloop'u tanımlayan mevzuatların çıkarılmasıdır. Avrupa Birliği'nin beklenen düzenlemesi bu açıdan kritik olacak. Bu çerçeveler hazırlanırken esneklik payı bırakmak da önemlidir; zira teknoloji gelişmeye devam edecektir ve düzenlemelerin bunu engellememesi gerekir. İkincisi, kamu-özel iş birliği modellerinin teşvik edilmesidir. Hyperloop gibi devasa altyapı yatırımları, sadece özel sektörün omuzlaması için fazla riskli olabilir. Kamu otoriteleri, uygun finansman modelleri ile bu projelerin hayata geçmesine yardımcı olabilir.

Son olarak, Türkiye özelinde baktığımızda ülkemizin, Hyperloop gibi yeni bir teknolojiyi tamamen dışarıdan bekleyip olgunlaştıktan sonra ithal etmek yerine, araştırma ve geliştirme safhalarında dahil olması uzun vadede yararlı olacaktır. Nitekim TÜBİTAK RUTE tarafından Türkiye'nin ilk Hyperloop'u Gebze yerleşkesinde kurulmuştur (TÜBİTAK). TÜBİTAK RUTE, kamu-özel sektör işbirliğini kurarak ve yönlendirerek Türkiye'nin, Hyperloop geleceğine hem teknik hem de regülasyonel anlamda hazır olmasını amaçlamaktadır. Türk üniversiteleri ve teknoparkları, uluslararası Hyperloop Ar-Ge konsorsiyumlarına katılabilir ve benzeri kuruluşlar, Hyperloop'un alt bileşenlerine yönelik (örneğin vakum teknolojisi, lineer motorlar, kompozit malzemeler) çağrılar açarak yerli kapasite oluşturabilir.

Bu sayede, eğer Hyperloop dünyada kabul görür ve yaygınlaşırsa, Türkiye bu zincirin sadece müşteri halkası değil, aynı zamanda teknoloji sağlayıcılarından biri haline gelebilir.

KAYNAKÇA

- Blanco, R., Sánchez, A., & Moreno, M. (2021). Environmental impacts and energy consumption of vacuum tube transport. *Sustainable Transportation Journal*, 15(3), 233–245.
- CENELEC. (2023). *CEN/CLC TR 17912:2023 - Hyperloop system standardization requirements*. European Committee for Electrotechnical Standardization.
- CENELEC. (2024). *EN 17930:2024 - Hyperloop system architecture and safety framework*. European Committee for Electrotechnical Standardization.
- European Commission. (2020). *Sustainable and smart mobility strategy: Putting European transport on track for the future*. <https://transport.ec.europa.eu>
- Federal Railroad Administration. (2021). *Hyperloop standards desk review*. U.S. Department of Transportation.
- HyperloopTT. (2019). *Safety framework whitepaper*. Retrieved from <https://hyperlooptt.com/safety-framework>
- IEC. (2010). *IEC 61508 - Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*. International Electrotechnical Commission.
- Mermoud, G., & Fevrier, A. (2022). Safety and certification frameworks for Hyperloop systems. *Transportation Research Procedia*, 60, 100–112.
- TUM Hyperloop. (2023). *First crewed Hyperloop test results*. Technical University of Munich. <https://www.tumhyperloop.de>
- Virgin Hyperloop. (2021). *Pegasus passenger test release*. Retrieved from <https://virginhyperloop.com/news/pegasus-passenger-test>
- TÜBİTAK, Hyperloop Geliştirme Yarışması, <https://tubitak.gov.tr/tr/yarismalar/hyperloop-gelistirme-yarismasi>

VIBRATIONAL ANALYSIS OF CHLOROPHENYLGLYOXIME MOLECULE

Assist. Prof. Dr. Zahide TOSUN

Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü
zahidetsn@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2468-7858

Abstract

Chlorophenylglyoxime is a chemical used as a reagent in the detection of metal ions and in organic synthesis. In this research, the correlation between the experimental and theoretically calculated vibrational frequencies of the chlorophenylglyoxime molecule was investigated. The molecular geometry optimization and vibrational frequency computations were performed using ab initio methods. For the theoretical calculations, the DFT-B3LYP method was used with 6-31G (d) and 6-311++G (d,p) basis sets, while the HF method utilized the 6-31G (d) basis set. The calculated vibrational frequencies were adjusted using appropriate scaling factors. It was observed that the scaled vibrational frequencies showed good agreement with the experimental results. Furthermore, the efficiency of the employed methods and basis sets was analyzed. It was found that the DFT-B3LYP method with the 6-311++G (d,p) basis set provides the most accurate results for frequency calculations.

Keywords: Vibrational spectroscopy, Frequency calculations, Frequency calculations with ab initio methods

1. INTRODUCTION

Vibrational (IR) spectroscopy is a powerful analytical technique widely used to determine the structural properties of molecules. Molecules have characteristic vibrational modes at specific frequencies, and these modes interact with infrared radiation to produce absorption. These absorptions provide detailed information about the types of bonds between atoms and the functional groups present in a molecule. In particular, it is highly effective in identifying functional groups such as carbonyl (C=O), hydroxyl (O–H), and amine (N–H) (Smith, 2011; Pavia et al., 2015). The vibrational frequencies of molecules can be calculated not only experimentally but also theoretically using ab initio methods (Dimitrova, 2004; Magalhaes et al., 2023 and Zhou et al., 2024). Methods such as Density Functional Theory (DFT) are frequently employed with high accuracy in the prediction of IR spectra (Frisch et al., 2016). These theoretical approaches not only facilitate the interpretation of experimental data but also provide valuable insights into molecules that are difficult to study experimentally.

Theoretically calculated vibrational frequencies are generally higher than those obtained from experimental IR data. The primary reasons for this discrepancy include anharmonic effects and the finite nature of the basis sets used in the calculations. Since real molecular vibrations do not behave in a perfectly harmonic manner, quantum chemical calculations based on the harmonic oscillator approximation involve certain deviations. Furthermore, the incompleteness of basis sets contributes to frequency inaccuracies (Scott & Radom, 1996). To achieve better agreement between calculated and experimental frequencies, various scaling factors have been developed. These factors are applied to theoretical frequencies to bring them closer to experimental reality. Numerous systematic studies have been conducted to determine the most appropriate scaling factors for different theoretical levels and basis sets (Merrick et al., 2007; Kesharwani et al., 2015).

Oxime compounds are important organic molecules obtained through the condensation reactions of aldehydes or ketones with hydroxylamine. These compounds have wide applications across many branches of chemistry, including organic, analytical, inorganic, industrial, and biochemistry (e.g., ligand design, analytical separation techniques, and metal complex synthesis) (Singh et al., 1979). One of the oxime derivatives, chlorophenylglyoxime, is commonly used as a reagent, particularly in the selective detection of metal ions and in organic synthesis reactions. In this study, the vibrational properties of the chlorophenylglyoxime molecule were investigated theoretically. The IR spectrum of the molecule was calculated using the Density Functional Theory (DFT-B3LYP) with the 6-311++G(d,p) and 6-31G(d) basis sets and Hartree-Fock (HF) method with 6-31G(d) basis set. The obtained theoretical frequencies

were then compared with experimental IR data. It is anticipated that this study will contribute to minimizing the differences between theoretical frequency calculations and experimental IR spectra, and will offer a new perspective in the literature, particularly in terms of the selection of appropriate computational methods and basis sets.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Experimental Spectrum

The experimental vibrational spectrum of the chlorophenylglyoxime molecule was obtained using a Perkin-Elmer Spectrum 100 FT-IR spectrometer with a spectral resolution of 4 cm^{-1} , located at the Department of Chemistry, Faculty of Science, Selçuk University. Prior to measurement, the sample was dried and mixed with potassium bromide (KBr), then pressed into a pellet form. The IR spectrum of the sample pellet was recorded in the range of $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$.

2.2. Theoretical Calculations

In order to accurately calculate the vibrational frequencies of molecules, it is essential to determine the spatial arrangement of atoms in their most stable geometry. For this purpose, geometry optimization was performed before conducting frequency calculations. Both geometry optimization and vibrational frequency computations for the chlorophenylglyoxime molecule were carried out using *ab initio* methods, specifically Density Functional Theory (DFT) and Hartree-Fock (HF). All theoretical calculations were performed using the Gaussian 03 software package (Frisch et al., 2003).

The calculated vibrational frequencies were scaled using correction factors obtained from the literature (Scott & Radom, 1996). These scaling factors were 0.97 for DFT-B3LYP 6-311++G(d,p), 0.9614 for DFT-B3LYP/6-31G(d) method and 0.8953 for the HF/6-31G(d) method. The performance of each method in frequency calculation was evaluated by calculating the root mean square (RMS) deviations between the theoretical and experimental frequencies. The geometric structure of the chlorophenylglyoxime molecule is shown in Figure 1.

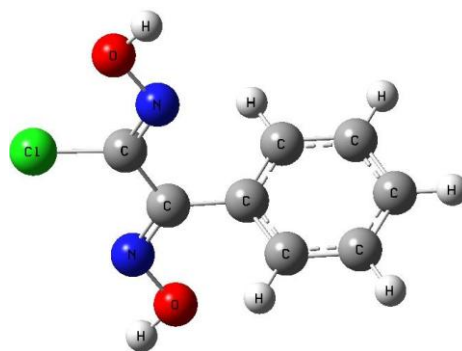


Figure 1. Chlorophenylglyoxime molecule

Table 1. Experimental Vibrational Frequencies of Chlorophenylglyoxime and Corresponding Vibrational Modes

Calculated by DFT-B3LYP/6-31G(d)

i	$\bar{\nu}_i^a (\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b (\text{cm}^{-1})$	Vibrational Modes
1		29	$\tau(\text{CCCN})$
2		38	$\tau(\text{CCCN})$
3		79	$\delta(\text{CCC})$
4		133	$\delta(\text{CCC}) + \gamma(\text{CN}) + \gamma(\text{NO})$
5		174	$\delta(\text{CCC}) + \gamma(\text{CC})$
6		231	$\gamma_{\text{ring}} + \gamma(\text{CC}) + \gamma(\text{NO})$

7		237	$\delta(\text{CNO}) + \delta(\text{CCCl}) + \delta(\text{CCC})$
8		265	$\gamma_{ring} + \delta(\text{CNO}) + \delta(\text{CCN})$
9		288	$\gamma_{ring} + \delta(\text{CNO}) + \delta(\text{CCC})$
10		335	$\gamma(\text{NO})$
11		409	γ_{ring}
12		435	$\nu(\text{CC}) + \delta(\text{CNO})$
13	456	439	$\gamma(\text{OH})$
14		465	$\gamma(\text{OH})$
15	485	486	$\gamma_{ring} + \gamma(\text{OH})$
16	521		$\delta_{ring} + \nu_{ring} + \delta(\text{CCH}) + \nu(\text{CCl}) + \gamma_{ring} +$
		548	$\delta(\text{CCC})$
17	558	573	$\gamma(\text{CN}) + \gamma_{ring} + \gamma(\text{CO}) + \gamma_{ring}$
18		631	$\delta_{ring} + \nu_{ring} + \delta(\text{CCH}) + \gamma(\text{CC})$
19	638	649	$\nu(\text{CCl}) + \delta(\text{CNO}) + \delta_{ring} + \delta(\text{CCH})$
20		696	$\gamma(\text{CC}) + \gamma_{ring}$
21	694	708	$\gamma(\text{CH})$
22	717	727	$\gamma(\text{CH}) + \nu(\text{CC}) + \delta(\text{CNO})$
23	770	783	$\gamma(\text{CH})$
24		854	$\gamma(\text{CH})$
25	870	866	$\gamma(\text{CH}) + \delta_{ring}$
26	923	936	$\gamma(\text{CH})$
27	940	984	$\gamma(\text{CH})$
28	989	999	$\gamma(\text{CH})$
29		1005	$\gamma(\text{CH}) + \nu(\text{NO}) + \delta(\text{CCN})$
30		1018	δ_{ring}
31	1030	1041	$\delta_{ring} + \delta(\text{CCH}) + \nu_{ring} + \nu(\text{NO}) +$
			$\delta(\text{CCN})$
32		1053	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring} + \nu(\text{NO})$
33	1070	1103	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring}$
34	1106	1150	$\delta_{ring} + \delta(\text{CCH}) + \nu(\text{CC}) + \nu(\text{CCl}) +$
			$\delta(\text{NOH})$
35	1148	1184	$\delta(\text{CCH})$
36	1181	1205	$\delta(\text{CCH})$
37	1281	1300	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring} + \nu(\text{CC}) + \nu(\text{CCl}) +$
			$\delta(\text{NOH})$
38		1322	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring} + \nu(\text{CC})$
39		1355	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring}$
40		1378	$\delta(\text{NOH}) + \delta(\text{CCH}) + \nu(\text{NO})$
41	1409	1411	$\delta(\text{NOH}) + \nu(\text{CC}) + \delta(\text{CCH})$
42	1443	1475	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring}$
43	1468	1525	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring}$

(Table 1. cont.)

i	$\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$	Vibrational Modes
44	1497	1619	$\delta(\text{CCH}) + \nu_{ring} + \nu(\text{CC})$
46	1608	1655	$\nu(\text{CN}) + \delta(\text{NOH}) + \nu(\text{CCl}) + \nu(\text{CC})$
47		1669	$\nu(\text{CN}) + \delta(\text{NOH})$

48	3164	$\nu(\text{CH})$
49	3173	$\nu(\text{CH})$
50	3182	$\nu(\text{CH})$
51	3190	$\nu(\text{CH})$
52	3195	$\nu(\text{CH})$
53	3812	$\nu(\text{CH})$
54	3729	3818 $\nu(\text{OH})$

Notation: $\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$ and $\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$ represents experimental frequency and frequencies calculated by DFT- B3LYP 6-311++G(d,p) respectively. ν , symmetric stretching; γ , out-of-plane bending; τ , twisting; δ , in-plane scissoring; ρ , out-of-plane rocking.

The vibrational frequencies calculated using the DFT-B3LYP/6-311++G(d) method and the corresponding vibrational modes of the molecule at these frequencies are presented in Table 1. The C–Cl stretching vibration observed at 638 cm^{-1} in the experimental spectrum corresponds to calculated frequencies of 630 cm^{-1} , 616 cm^{-1} and 641 cm^{-1} . In the IR spectra of oximes, the C=N stretching absorption typically appears between 1700 and 1500 cm^{-1} , while the N–O stretching vibration adjacent to the double bond is generally found around 970 to 925 cm^{-1} [13]. In our experimental spectrum, the N–O stretch is observed at 989 cm^{-1} , which compares well with the calculated values of 969 cm^{-1} , 972 cm^{-1} and 1042 cm^{-1} . The NOH scissoring mode detected at 1281 cm^{-1} experimentally is predicted at 1261 cm^{-1} , 1240 cm^{-1} and 1283 cm^{-1} theoretically. Similarly, the C=N stretching vibration seen at 1605 cm^{-1} , 1608 cm^{-1} corresponds to calculated frequencies at 1608 cm^{-1} and 1740 cm^{-1} . Furthermore, in aromatic compounds, the C=C stretching absorptions, which are generally observed in the range of 1430 to 1650 cm^{-1} , appear at 1443 – 1580 cm^{-1} in our spectrum, while in the calculated spectrum, these values are observed in the ranges of 1439 – 1597 cm^{-1} and 1443 – 1622 cm^{-1} . The O–H vibration at 3729 cm^{-1} was observed at 3703 , 3602 , and 3687 cm^{-1} . In the spectrum, between 1608 cm^{-1} and 3729 cm^{-1} , instrument noise was observed.

Table 2, Table 3 and Table 4 represents vibrational frequencies of the chlorophenylglyoxime molecule calculated using DFT-B3LYP/6-311++G(d,p), DFT-B3LYP/6-31G(d) and HF/6-31G(d) methods, along with their deviations from the experimentally measured frequencies and the corresponding root mean square (RMS) errors. RMS values are 22.26, 35.95 and 42.34 for DFT-B3LYP/6-311++G(d,p), DFT-B3LYP/6-31G(d) HF/6-31G(d) method respectively.

Table 2. DFT B3LYP/6-311++G(d,p) frequencies and experimental deviations for chlorophenylglyoxime.

i	$\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$	Deviations ($\bar{\nu}_i^c - \bar{\nu}_i^a$)	RMS
1		29	28		22.26
2		38	37		
3		79	77		
4		133	129		
5		174	169		
6		231	224		
7		237	230		
8		265	257		
9		288	279		
10		335	325		
11		409	397		
12		435	422		
13	456	439	426	-30	
14		465	451		
15	485	486	471	-14	

16	521	548	532	11
17	558	573	556	-2
18		631	612	
19	638	649	630	-8
20		696	675	
21	694	708	687	-7
22	717	727	705	-12
23	770	783	760	-10
24		854	828	
25	870	866	840	-30
26	923	936	908	-15
27	940	984	954	14
28	989	999	969	-20
29		1005	975	
30		1018	987	
31	1030	1041	1010	-20
32		1053	1021	
33	1070	1103	1070	0
34	1106	1150	1116	10
35	1148	1184	1148	0
36	1181	1205	1169	-12
37	1281	1300	1261	-20
38		1322	1282	
39		1355	1214	
40		1378	1337	
41	1409	1411	1369	-40
42	1443	1475	1431	-12
43	1468	1525	1479	11
44	1497	1619	1570	73

(Table 2. cont.)

i	$\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$	Deviations ($\bar{\nu}_i^c - \bar{\nu}_i^a$)	RMS
45	1580	1642	1593	13	22.26
46	1608	1655	1605	-3	
47		1669	1619		
48		3164	3069		
49		3173	3078		
50		3182	3087		
51		3190	3094		
52		3195	3099		
53		3812	3698		
54	3729	3818	3703	-26	

Notation: $\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$, $\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$ and $\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$ represents experimental frequency, frequencies calculated by DFT- B3LYP 6-311++G(d,p) and frequencies calculated by DFT- B3LYP 6-311++G(d,p) and scaled with 0.97 respectively.

Table 3. DFT B3LYP/6-31G(d) frequencies and experimental deviations for chlorophenylglyoxime.

i	$\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$	Deviations ($\bar{\nu}_i^c - \bar{\nu}_i^a$)	RMS
-----	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---	-----

1		30	29		35,95
2		47	45		
3		82	79		
4		119	114		
5		174	167		
6		212	204		
7		228	219		
8		283	272		
9		327	314		
10		355	341		
11		394	379		
12		414	398		
13	456	431	414	-42	
14		465	447		
15	485	482	463	-22	
16	521	524	504	-17	
17	558	598	575	17	
18		632	608		
19	638	641	616	-22	
20		681	655		
21	694	709	682	-12	
22	717	734	706	-11	
23	770	793	762	-8	
24		862	829		
25	870	864	831	-39	
26	923	943	907	-16	
27	940	977	939	-1	

(Table 3. cont.)

<i>i</i>	$\bar{\nu}_i^a (cm^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b (cm^{-1})$	$\bar{\nu}_i^c (cm^{-1})$	<i>Deviations</i> $(\bar{\nu}_i^c - \bar{\nu}_i^a)$	<i>RMS</i>
28		1001	962		35,95
29	989	1011	972	-17	
30		1020	981		
31	1030	1031	991	-39	
32		1061	1020		
33	1070	1116	1073	3	
34	1106	1148	1104	-2	
35	1148	1196	1150	2	
36	1181	1222	1175	-6	
37	1281	1290	1240	-41	
38		1349	1297		
39		1373	1320		
40		1404	1350		
41	1409	1438	1382	-27	
42	1443	1497	1439	-4	
43	1468	1544	1484	16	
44	1497	1637	1574	77	
45	1580	1661	1597	17	
46	1608	1673	1608	0	

47		1704	1638	
48		3186	3063	
49		3195	3072	
50		3204	3080	
51		3213	3089	
52		3249	3124	
53		3740	3596	
54	3729	3747	3602	-127

Notation: $\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$, $\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$ and $\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$ represents experimental frequency, frequencies calculated by DFT- B3LYP 6-311++G(d,p) and frequencies calculated by DFT- B3LYP 6-31G(d) and scaled with 0.9614 respectively.

Table 4. HF/6-31G(d) frequencies and experimental deviations for chlorophenylglyoxime.

i	$\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$	Deviations ($\bar{\nu}_i^c - \bar{\nu}_i^a$)	RMS
1		25	22		42,34
2		37	33		
3		87	78		
4		146	131		
5		189	169		
6		257	230		
7		262	235		
8		288	258		
9		314	281		
10		380	340		
11		435	389		
i	$\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$	$\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$	Deviations ($\bar{\nu}_i^c - \bar{\nu}_i^a$)	RMS
12		449	402		42,34
13	456	455	407	-49	
14		470	421		
15	485	528	473	-12	
16	521	595	533	12	
17	558	628	562	4	
18		677	606		
19	638	716	641	3	
20		761	681		
21	694	777	696	2	
22	717	789	706	-11	
23	770	859	769	-1	
24		956	856		
25	870	960	859	-11	
26	923	1051	941	18	
27		1091	977		
28	940	1100	985	45	
29		1125	1007		
30		1128	1010		
31	989	1164	1042	53	
32	1030	1182	1058	28	
33	1070	1212	1085	15	
34	1106	1217	1090	-58	

35	1148	1261	1129	23
36	1181	1304	1167	-14
37		1334	1194	
38	1281	1433	1283	2
39		1476	1321	
40		1548	1386	
41	1409	1574	1409	0
42	1443	1612	1443	0
43	1468	1672	1497	29
44	1497	1783	1596	99
45	1580	1812	1622	42
46		1923	1722	
47	1608	1944	1740	132
48		3358	3006	
49		3368	3015	
50		3378	3024	
51		3387	3032	
52		3393	3038	
53		4115	3684	
54	3729	4118	3687	-42

Notation: $\bar{\nu}_i^a(\text{cm}^{-1})$, $\bar{\nu}_i^b(\text{cm}^{-1})$ and $\bar{\nu}_i^c(\text{cm}^{-1})$ represents experimental frequency, frequencies calculated by HF 6-31G(d) and frequencies calculated by HF 6-31G(d) and scaled with 0.8953 respectively.

3. CONCLUSION

In order to evaluate the performance and accuracy of the computational methods and basis sets used in calculating the vibrational frequencies of the chlorophenylglyoxime molecule, the deviations between the theoretically calculated frequencies—scaled by appropriate correction factors—and the experimentally measured frequencies were analyzed. The root mean square (RMS) deviations were calculated as a quantitative measure of these discrepancies. The results indicate that the lowest RMS error found for DFT-B3LYP/6-311++G(d,p) method. The analysis clearly demonstrates that the DFT-B3LYP method combined with the 6-311G++(d,p) basis set outperforms the Hartree-Fock (HF) method in predicting vibrational frequencies. The primary reason for this improved performance is that the HF method does not account for electron correlation effects. Electron correlation plays a critical role in accurately modeling molecular energies and properties, and the DFT-B3LYP method effectively incorporates these effects. Consequently, DFT-B3LYP provides more realistic and experimentally consistent results, especially for vibrational frequency calculations of organic molecules. This study confirms that the DFT-B3LYP/6-311++G(d,p) approach is suitable for complex organic molecules such as chlorophenylglyoxime. Furthermore, it highlights the importance of applying appropriate scaling factors to theoretical frequencies to achieve better agreement with experimental data. In this context, the integration of theoretical calculations with experimental observations is essential for obtaining reliable results in molecular vibrational analyses.

REFERENCES

- Dimitrova, Y. (2004). Theoretical study of the structures, stability and vibrational spectra of the nitrous acid complexes with CH₄. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 60, 2163–2170. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2003.10.047>
- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., ... & Pople, J. A. (2003). *Gaussian 03* (Revision E.01). Gaussian, Inc.
- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., ... & Fox, D. J. (2016). *Gaussian 16* (Revision C.01). Gaussian, Inc.

- Kesharwani, M. K., Brauer, B., & Martin, J. M. L. (2015). Frequency and zero-point vibrational energy scale factors for double-hybrid density functionals (and other selected methods): Can anharmonic force fields be avoided? *The Journal of Physical Chemistry A*, 119(9), 1701–1714. <https://doi.org/10.1021/jp508422u>
- Magalhães, I. O. M., Cabral, B. J. C., & Martins, J. B. L. (2023). Ab initio approach to the structure, vibrational properties, and electron binding energies of $\text{H}_2\text{S}\cdots\text{SO}_2$. *Molecules*, 28(18), 6656. <https://doi.org/10.3390/molecules28186656>
- Merrick, J. P., Moran, D., & Radom, L. (2007). An evaluation of harmonic vibrational frequency scale factors. *The Journal of Physical Chemistry A*, 111(45), 11683–11700. <https://doi.org/10.1021/jp073974n>
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. A. (2015). *Introduction to spectroscopy* (5th ed.). Cengage Learning.
- Scott, A. P., & Radom, L. (1996). Harmonic vibrational frequencies: An evaluation of Hartree–Fock, Møller–Plesset, quadratic configuration interaction, density functional theory, and semiempirical scale factors. *The Journal of Physical Chemistry*, 100(41), 16502–16513. <https://doi.org/10.1021/jp960976r>
- Singh, R. B., Garg, B. S., & Singh, R. P. (1979). Oximes as spectrophotometric reagents—A review. *Tetrahedron*, 26, 425–444. [https://doi.org/10.1016/0040-4020\(79\)85062-1](https://doi.org/10.1016/0040-4020(79)85062-1)
- Zhou, M., Lu, X., Liu, X., Zhang, Y., Zhang, X., & Wang, K. (2024). Ab initio molecular dynamics simulations and vibrational frequency calculations of species in liquid-liquid phase separated MgSO_4 solution at 543 K. *Geofluids*, 2024, Article ID 8852421. <https://doi.org/10.1155/2024/8852421>

MEKANİK SIRT AĞRISI YAŞAYAN MASA BAŞI ÇALIŞANLARINDA KAYROPRAKTİK TORAKAL MANİPÜLASYONUN OMUZ KUŞAĞI FONKSİYONUNA ETKİSİ

Ayça İSKENDER

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Kayropraktik (Tezli)
Yüksek Lisans Programı
aycaiskender1998@gmail.com, ORCID: 0000- 0002-7378-7364

Dr. Öğr. Üyesi Yücel AĞIRDİL

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Ortopedik Protez ve Ortez
yucel.agirdil@nisantasi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3360-5044

Özet

Masa başı çalışanlarında oluşan ve çalışanların yıllık ortalama %25'ini etkileyen sırt ağrıları işçilerin yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Torakal omurga, skapulotorasik eklemlerle olan biyomekanik bütünlüğü sayesinde üst ekstremité fonksiyonunda kilit rol oynamaktadır. Kayropraktik tedavi, hastaya ağrı, acı hissettirmeden, vücudun kendi kendini iyileştirme yeteneğini harekete geçiren el ile yapılan müdahalelerdir. Bu araştırma, mekanik sırt ağrısı yaşayan masa başı çalışanlarında kayropraktik torakal yüksek hızlı düşük genlikli (HVLA) manipülasyonunun ağrı düzeyi ve omuz kuşağı fonksiyonu üzerindeki kısa dönem etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Tek gruplu deneysel tasarımla yürütülen çalışmaya 20-55 yaş aralığındaki dahil edilme kriterlerine uyan 32 katılımcı (18 kadın, 14 erkek) alınmıştır. Katılımcılar, sekiz seanslık (dört hafta) tedavi öncesi ve sonrasında; Vizüel Analog Skoru (VAS), Üst Ekstremité Fonksiyonel İndeksi (UEFI) ve Kol, Omuz ve El Skalası (DASH) ile değerlendirilmiştir. Veriler IBM SPSS (Sosyal Bilimler İstatistik Paketi) 26 programı ile analiz edilmiştir, istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir. Tedavi sonrasında VAS ortancası 6'dan 2'ye düşmüş, UEFI'de 18,5 puan artış, DASH'ta ≈ 26 puan azalma gözlenmiştir. İstatistiksel analizler büyük etki büyüklüğü ($r\approx 0,87$) ortaya koymuş; yaş, vücut kitle indeksi, çalışma süresi gibi değişkenler iyileşme miktarını etkilememiştir. Cinsiyete göre değerlendirildiğinde, ağrı değişkeni bakımından fark saptanmazken, DASH ve UEFI skorlarında kadın bireylerde daha fazla iyileşme gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, torakal omurga mobilitesinin skapulotorasik ritim ve omuz biyomekaniği üzerindeki düzenleyici etkisini desteklemektedir. Bu sonuçlar, masa başı çalışanlarında torakal manipülasyonun kısa sürede klinik olarak anlamlı fayda sağlayabileceğini, mekanik sırt ağrısının yönetiminde etkili bir tamamlayıcı yaklaşım olabileceğini ve torakal kayropraktik manipülasyonun mekanik sırt ağrısı yaşayan bireylerde ağrıyı azaltmakta ve omuz fonksiyonlarını iyileştirmekte olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmaların; kontrollü, uzun dönemli ve ergonomik ya da egzersiz temelli protokollerle kombine edilmiş araştırma tasarımlarıyla yöntemin kalıcılığını değerlendirmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kayropraktik, manipülasyon, mekanik sırt ağrısı, omuz fonksiyonu, torakal omurga, masa başı çalışanları

SHORTTERM EFFECTS OF CHIROPRACTIC THORACIC MANIPULATION ON SHOULDER GIRDLE FUNCTION IN OFFICE WORKERS WITH MECHANICAL BACK PAIN

Abstract

Back pain, which develops in desk-bound employees and affects roughly 25 % of the workforce each year, undermines workers' quality of life. Thanks to its biomechanical integration with the scapulothoracic joint, the thoracic spine plays a pivotal role in upper-extremity function. Chiropractic care involves hands-on interventions that stimulate the body's innate capacity to heal itself without causing the patient pain or discomfort. This study aimed to investigate the short-term effects of chiropractic thoracic HVLA (high-velocity low-amplitude) manipulation on pain levels and shoulder

girdle function in office workers with mechanical back pain. Conducted with a single-group experimental design, the study included 32 participants (18 females, 14 males) aged between 20 and 55 who met the inclusion criteria. Participants were evaluated before and after an eight-session (four-week) intervention using the Visual Analog Scale (VAS), Upper Extremity Functional Index (UEFI), and Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand (DASH) scale. Data were analyzed using IBM SPSS 26, with a significance level set at $p < 0.05$. Following the intervention, the median VAS score decreased from 6 to 2, the UEFI score increased by an average of 18.5 points, and the DASH score decreased by approximately 26 points. Statistical analyses revealed a large effect size ($r \approx 0.87$). Variables such as age, body mass index, and duration of employment did not significantly influence the degree of improvement. While no significant difference in pain levels was observed between genders, female participants showed greater improvements in DASH and UEFI scores. These findings support the regulatory role of thoracic spinal mobility on scapulothoracic rhythm and shoulder biomechanics. The results suggest that thoracic manipulation may provide rapid and clinically significant benefits in office workers, serving as an effective complementary approach in the management of mechanical back pain. Moreover, thoracic chiropractic manipulation appears to reduce pain and improve shoulder function in individuals with mechanical back pain. Future studies are recommended to explore the long-term efficacy of this method using controlled designs combined with ergonomic or exercise-based protocols.

Keywords: Thoracic spine, manipulation, mechanical back pain, shoulder function, chiropractic, office workers

1. GİRİŞ

Mekanik sırt ağrısı, kas iskelet sistemi hastalıkları içerisinde önemli bir morbidite ve iş gücü kaybı nedenidir. Özellikle bilgisayar başında uzun süre statik pozisyonda çalışan ofis personeline bel (%55,1), boyun (%52,5) ve sırt ağrısı (%53) şikâyetleri belirgin bir sıklığa ulaşmaktadır (Çelik vd., 2018). Yıllık insidansın %25'e yaklaştığı bu popülasyonda, ergonomik yetersizlikler, tekrarlayan mikrotravmalar, fiziksel inaktivite ve yetersiz dinlenme süreleri ağrı oluşumunu kolaylaştırmaktadır (Milde vd., 2019). Mekanik kökenli bu ağrılar dokularda travma ve dejenerasyon sonucu gelişir; hareketle artması, dinlenme ile azalması ve sabah tutukluğunun nadir görülmesi inflamatuvar kökenli ağrılardan ayırt edici özelliklerdir (Kibler vd., 2012).

Torakal omurga, skapulotorasik eklemlerle olan biyomekanik bütünlüğü sayesinde üst ekstremité hareket açıklığı ve stabilitesinde kilit rol oynar. Literatürde tam omuz fleksiyonunun sağlanabilmesi için en az 15° torakal ekstansiyon gerektiği; unilateral omuz elevasyonunda bile yaklaşık 9° torakal ekstansiyonun yeterli olduğu bildirilmiştir (Hegarty vd., 2021). Duruş bozukluklarına bağlı torakal hiperkifoz, skapulohumeral ritmi bozarak rotator kılıf kas dengesizliğine, humeral başın süperior translasyonuna ve subakromiyal sıkışma sendromuna zemin hazırlar (Culham & Peat, 1993).

Kayropraktik, omurga sağlığını merkezine alarak sinir, kas ve iskelet sistemindeki mekanik bozuklukların tanı, tedavi ve önlenmesinde manuel tekniklerden yararlanan bir uzmanlık alanıdır. Kırık-çıkık olmayan, cerrahi sınırına ulaşmamış ancak dizilimini yitirerek patolojik hâle gelen eklemlerin biyomekaniğini yeniden düzenleyip vücudun doğal iyileşme süreçlerini harekete geçirmeyi amaçlar (Gatterman, 2005).

Diversified tekniği dünya genelinde kayropraktörlerin kullandığı en yaygın manipülasyon tekniğidir ve kayropraktik uygulayıcılarına eğitimlerde en çok öğretilen tekniktir. Diversified tekniğinde hastalara farklı pozisyonlarda HVLA itme manevrası uygulanır (Cooperstein, 1995).

Skapulotorasik ritmin optimizasyonunda torakal mobilitenin artırılması, üst ekstremité rehabilitasyon programlarının vazgeçilmez öğelerindendir. Kayropraktik HVLA manipülasyonlarının torakal faset eklemlerindeki kinematiği kısa sürede iyileştirdiği; subakromiyal ağrı sendromlu bireylerde serratus anterior aktivasyonunu artırarak ağrıyı azalttığı yönünde kanıtlar mevcuttur (Hegarty vd., 2021). Bununla birlikte masa başı çalışanlarında torakal manipülasyonun omuz kuşağı fonksiyonuna olan etkisini prospektif biçimde inceleyen çalışmalar sınırlıdır.

Bu tez, mekanik sırt ağrısı bulunan masa başı çalışanlarında kayropratik torakal HVLA manipülasyonunun omuz kuşağı fonksiyonuna kısa dönemde etkisini araştıran ilk tek grup deneysel çalışmalardan biridir. Çalışmada 20-55 yaş arası, VAS > 2 skoru olan 32 gönüllüye dört hafta boyunca sekiz seans kayropratik manipülasyon uygulanmış; ağrı düzeyi (VAS) ile fonksiyonel durum (DASH, UEFI) tedavi öncesi ve sonrası karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, mekanik sırt ağrısı yaşayan masa başı çalışan bireylerde torakal kayropratik manipülasyonun ağrı düzeyi ve omuz kuşağı fonksiyonelliği üzerine etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın temel amacı, torakal manipülasyonun skapulotorasik birlikteliği restore ederek ağrıyı azaltıp üst ekstremité fonksiyonunu iyileştirip iyileştirmedeğini belirlemektir.

Çalışma sonucunda oluşturulacak kanıtın, masa başı çalışanlarında sık görülen sırt ve omuz kaynaklı disfonksiyonların klinik yönetiminde kayropratik yaklaşımın yerini netleştirmesi ve ergonomik/egzersiz temelli müdahalelerle entegrasyonuna ışık tutması beklenmektedir.

Böylece, torakal omurga biyomekaniği ile omuz kuşağı fonksiyonu arasındaki ilişkiler bütüncül bir perspektifle ele alınarak mekanik sırt ağrısının yönetiminde modern kayropratik uygulamaların bilimsel temeli güçlendirilecektir.

Literatürde, omuz fonksiyonlarını değerlendiren DASH ve UEFI ölçeklerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar sınırlıdır. Bu açıdan da çalışmamızın hem özgün hem de klinik uygulamalara katkı sağlayacak nitelikte olduğu düşünülmektedir.

2. Çalışmanın Yöntemi

2.1. Bireyler

Bu çalışmaya, İstanbul il sınırları içerisinde bulunan, sadece mekanik sırt ağrısı kaynaklı omuz fonksiyonunda azalma görülen bunun dışında herhangi bir nedene bağlı omuz disfonksiyonu olmayan, daha önce hiç kayropratik tedavi almamış, kayropratik tedaviye karşı herhangi bir kontrendikasyonu bulunmayan, 20-55 yaş aralığında, Vas >2 mekanik sırt ağrısı olan ve masa başında çalışan 32 gönüllü birey dahil edildi. Çalışmaya katılmak istemeyen bireyler dahil edilmedi.

2.2. Araştırmanın Türü

Bu araştırma nicel, prospektif kohort çalışma olarak yapılmıştır. Etken (manipülasyon) ile sonuç (omuz kuşağı fonksiyonu) arasında ilişki var mıdır sorusunun yanıtını aramaktadır.

2.3. Araştırma Soruları/Hipotezleri

Masa başı çalışanlarında gelişen mekanik sırt ağrıları için torakal bölgeye kayropratik tedavinin uygulanması omuz kuşağı fonksiyonunu etkiler mi ?

Ho: Mekanik sırt ağrılı masa başı çalışanlarda; torakal bölgeye uygulanan kayropratik manipülasyonun omuz kuşağı fonksiyonu üzerine etkinliği yoktur.

H1: Mekanik sırt ağrılı masa başı çalışanlarda; torakal bölgeye uygulanan kayropratik manipülasyonun omuz kuşağı fonksiyonu üzerine etkinliği vardır.

2.4. Araştırmanın Yeri ve Zamanı

Araştırma Kasım 2024-Mayıs 2025 tarihleri arasında Özel Küçükçekmece Belediyesi Özel Eğitim ve Rehabilitasyon Merkezi'nde yüz yüze olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.5. Araştırmanın Evren/Örnekleme

Bu çalışma İstanbul il sınırları içerisinde bulunan masa başı çalışanlarını ve mekanik sırt ağrısı kaynaklı omuz fonksiyonunda azalması olan 20-55 yaş aralığındaki gönüllü 32 bireyi kapsar. Örneklem sayısı G*Power 3.1.9.2 yazılımında hesaplanmış; etki büyüklüğü 0,60, alfa düzeyi 0,05 ve istatistiksel güç

%95 olarak girildiğinde, en az 32 katılımcının yer alması gerektiği belirlenmiştir. Bu sayı, çalışmaya amaçlı örnekleme yöntemiyle ulaşılabilecek şekilde planlanmıştır.

2.6. Araştırmaya Dahil Edilme ve Dışlanma Ölçütleri

Dahil edilme kriterleri:

- Bilgilendirilmiş gönüllü onam formunu imzalamış olmak,
- İstanbul’da yaşıyor olmak,
- Daha önce kayropratik tedavi almamış olmak,
- 20-55 yaş aralığında olmak,
- Tam zamanlı masa başı çalışanı olmak,
- Vas>2 mekanik sırt ağrısı yaşamak ve buna bağlı omuz fonksiyonunda azalma görülmesidir.

Dışlanma kriterleri:

- Kayropratik tedaviye kontraendike durum (Tümör, romatolojik durum, kırık, çıkık, metastas ve anevrizma gibi)
- 20-55 yaş aralığının dışında kalması
- Servikal disk patolojisi olan
- Omuz kuşağında herhangi bir yaralanması olan
- Omuz cerrahisi geçirmiş olması
- İnflamatuvar kökenli sırt ağrısı olması

2.7. Veri Toplama Yöntemi

Torakal bölgeye yönelik kayropratik manipülasyonun omuz kuşağı fonksiyonunu etkileyebileceği öngörülen bağımsız değişkenleri belirlemek amacıyla kapsamlı bir literatür incelemesi yapıldı ve bu değişkenleri kapsayan bir kişisel bilgi formu hazırlandı. Katılımcıların cinsiyet, yaş, sosyo-ekonomik durum, ağrı düzeyi ve yaşam aktivitelerinin etkinlikleri gibi bilgiler toplanmıştır. Çalışmada veri toplama araçları olarak, bireyler ile uygun ve anlaşılır iletişimi sağlayacak yüz yüze anket formlarından, gonyometrik ölçümlerden ve kayropratik değerlendirmelerden (palpasyon) yararlanılmıştır. Çalışmamızda bireyler tedaviye başlamadan önce ve dördüncü haftanın sonunda kontrol edilmiş ve değişkenlerin son hali not edilmiştir.

2.8. Veri Toplama Araçları

2.8.1. Görsel Analog Ağrı Skalası (VAS)

VAS, hastanın algıladığı ağrı şiddetini kantitatif olarak ölçmek için kullanılan basit bir çizelgedir. Cetvelin bir ucu “0 = hiç ağrı yok”, diğer ucu ise “10 = yaşam boyu hissedilen en şiddetli ağrı” ifadesini taşır. Kişi, mevcut ağrısını bu iki uç arasında uygun bulduğu noktaya işaretler. Yıllardır klinik araştırmalarda yer alan VAS, uygulama süresi kısa, maliyeti düşük ve tekrar test–güvenirliliği yüksek bir yöntemdir (Wewers ve Lowe, 1990).

2.8.2. Kol, Omuz ve El Sorunları Anketi (DASH)

DASH, üst ekstremité fonksiyonu ve semptomlarını sorgulayan 30 maddelik bir öz bildirim ölçeğidir; bunların 24’ü günlük aktivitelerle ilgili işlevsel düzeyi, 6’sı ise ağrı, sertlik gibi semptomları değerlendirir. Ayrıca dört sorudan oluşan “iş” ve “spor–müzişyen” alt modülleri isteğe bağlı olarak eklenebilir. Her madde 1 (hiç zorluk yok) ile 5 (yapamıyorum) arasında puanlanır; toplam skor yükseldikçe fonksiyonel kısıtlılık artar. Ortalama doldurma süresi 5–10 dakikadır. Ölçek, Türkçe dâhil pek çok dile adapte edilmiş ve farklı üst ekstremité rahatsızlıklarında geçerliliği–güvenirliliği kanıtlanmıştır (Düger ve diğerleri, 2006).

2.8.3. Üst Ektremité Fonksiyonel İndeksi (UEFI)

UEFI, kas-iskelet sistemi kaynaklı kol ve el sorunlarında hastanın fonksiyonel durumunu belirlemeye yönelik bir öz bildirim formudur. Likert tipi 0–4 puanlamayla verilen 40 madde tek faktörde toplanır; toplam puan 0–80 aralığındadır (0 = maksimum zorluk, 80 = tam fonksiyon). Ölçeğin yapı geçerliliği

faktör analizi ile doğrulanmış, iç tutarlılık katsayısı Cronbach $\alpha = 0,80$ olarak raporlanmıştır; bu da yeterli güvenilirliğe işaret eder (Aytar ve diğerleri, 2015).

2.8.4. Demografik Bilgi Formu

Tüm katılımcılara yaş, boy, kilo, cinsiyet, eğitim durumu, meslek, günde kaç saat çalıştığı, çalışma saatleri içerisinde masa başında ne kadar zaman geçirdiği, medeni durum, sigara ve alkol kullanımı, mevcut kronik hastalıkları, aktif ilaç kullanımı ve iletişim bilgilerini soran bir form hazırlandı. Demografik bilgi formunun sonuna tedavi öncesinde ve sonrasında ölçülen normal eklem hareket açıklıklarının kaydedildiği gonyometrik ölçümler tablosu eklenmiştir.

2.9. Uygulama

2.9.1. Verilerin Toplanması

Mekanik sırt ağrısı olan kişiler tek grupta toplandı. Kayropraktik uygulama yöntemi olarak Diversified HVLA tekniği kullanılacaktır. Kayropraktik manipülasyonlar hastaların torakal omurgasına uygulanmıştır. Riski olmayan bu çalışmamıza katılacak gönüllülerin; seans süre ve sayıları haftada 2 seans, toplam 4 hafta olmak koşu ile 8 seans olarak yapılmıştır. Bir seans; ortalama 15 dakika sürmüştür. Bireyler ile uygun ve anlaşılır iletişimi sağlayacak yüzyüze anket formlarından, gonyometrik ölçümlerden ve kayropraktik değerlendirmelerden (palpasyon) yararlanılmıştır. Çalışmamızda bireylere tedaviye başlamadan önce ile tedavi sonunda; Vizüel Analog Skalası (VAS) ile istirahat ve aktivite sırasında ki sırt ağrısı, Kol Omuz ve El Engellilikleri Anketi (DASH) ve Üst Ekstremitate Fonksiyonel İndeks (UEFI) ile omuz kuşağı fonksiyonelliği, gonyometre ile omuzun fleksiyon, ekstansiyon, addüksiyon, abduksiyon, eksternal ve internal rotasyon açıları değerlendirilmiştir. Uygulamalara başlamadan hemen önce ve her seansın başında bireyler kayropraktik açıdan palpasyon ile değerlendirilip vertebral subluksasyonların tespiti yapılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre mekanik sırt ağrılı bireylerde omuz fonksiyonelliğini artırmak amacıyla torakal bölgeye uygulanan kayropraktik uygulamanın tedavi programı sırasında kullanılması konusunda bir genel kanı oluşturulması hedeflenmiştir.

2.9.2. Palpasyon

Çalışmadaki katılımcıların, her seansın başında torakal bölgesi palpasyon ile değerlendirilip mevcut olan vertebral subluksasyon/subluksasyonlar tespit edilmiştir. Hastalar prone pozisyonda yatırılmış ve torakal omurlar çift taraflı olarak palpe edilmiştir (Şekil 1 ve 2).

2.9.2.1. Statik Palpasyon

Statik palpasyon, torasik bölgedeki yapısal bozuklukları saptamak amacıyla genellikle prone (yüzüstü) pozisyonda uygulanır (Bergmann & Peterson, 2011). Muayene sırası özetle şöyledir:

- Termal ve deri duyarlılığı taraması: Parmak uçları hafif temasla dorsal yüzey boyunca kaydırılarak lokal ısı artışı, ödem veya hiperaljezik bölgeler aranır.
- Deri-fasya-kas tabakaları: Yüzeyel ve derin dokuların tonusu, kıvamı ve kayma hareketi değerlendirilir; fibrotik bant ya da miyofasiyal tetik nokta ayırıcı tanısı yapılır.
- Ossöz referans noktaları: Spinöz ve transvers çıkıntılar, kaburga açıları, interspinöz ve interkostal aralıklar sistematik olarak palpe edilir. Şekil bozukluğu, bası duyarlılığı, “step-off” veya asimetri varlığı kaydedilir (Cooperstein & Gleberzon, 2020).
- Kaburga-kas ayrımı: Sert, hareketsiz kaburga segmentleri; yumuşak, elastik ve mobil kas kitlelerinden (tetik nokta) ayırt edilir.
- Kostotransvers eklem disfonksiyonu bulguları: Bu bölgedeki irritasyon; özellikle derin nefes alma sırasında keskinleşen ağrı ve ön göğüs duvarına yayılım ile kendini gösterebilir.
- Skapular hizalanma: Skapulanın orta ve alt açılarının omurga ile yaptığı açı ve her iki tarafın simetrisi gözlenir; malpozisyon, altta yatan torasik disfonksiyonu işaret edebilir (Gatterman, 2005).

Bu sıralama, torasik omurga ve kostaların yapısal–fonksiyonel bütünlüğünü palpasyonla sorgulayarak klinik karar sürecine objektif veri kazandırır.

2.9.2.2. Dinamik (Segmental) Palpasyon

Dinamik palpasyon, torasik segmentlerin pasif eklem hareketini değerlendirmek amacıyla uygulanan bir “hareket testi” yöntemidir. Hasta oturma pozisyonunda veya prone pozisyonunda stabilize edilir; klinisyen parmak uçlarını spinöz ya da transvers çıkıntılara yerleştirerek her omur–kaburga ünitesine hafif kuvvetle “yaylanma” (spring) hareketi uygular. Bu manevra ile:

- 1.Segmental eklem hareketi (joint play); normal, hipomobil ya da hiper mobil olup olmadığı,
- 2.End-feel; elastik, sert veya ağırlı bitiş karakteri,
- 3.Ağrılı seviye; palpasyona eşlik eden lokal ya da yansıyan ağrının segmental lokalizasyonu tespit edilir (Bergmann & Peterson, 2011).

Oturur pozisyonunda yapılan test, göğüs kafesinin ağırlık ve yerçekimi etkisi altında doğal postürdeki segment hareketini gösterirken, prone test torasik yaylanmayı gravite etkisini azaltarak incelemeye olanak tanır (Cooperstein & Gleberzon, 2020). Dinamik palpasyonda belirlenen hipomobil segmentler, ilerleyen klinik değerlendirmede manipülatif veya mobilizasyon tekniklerinin hedefi olabilir (Gatterman, 2005).



Şekil 1. Statik Palpasyon Yöntemleri



Şekil 2. Dinamik Palpasyon Yöntemleri

2.9.3. Kayropraktik Manipülasyon/ Torakal Bölge Adjustment Yöntemleri

Çalışmadaki katılımcıların, torakal bölgesinde (T1-T12) tespit edilen vertebral subluksasyon/subluksasyonlara, bireyler prone ve supin pozisyonda iken Diversified HVLA tekniği ile kayropraktik manipülasyon/manipülasyonlar uygulandı. Uygulamalar subluksasyonun tespit edildiği tarafa/tafllara yapılmıştır (Şekil 1,2 ve 3). Uygulamalar toplam 15 dakika sürmüştür. Kayropraktik torakal manipülasyonların daha etkin yapılabilmesi için hastanın kendini olabildiğince rahat hissedeceği pozisyon sağlanmalıdır ve hasta kendini olabildiğince serbest bırakmalıdır.

- **Prone (Yüzüstü) Bilateral Hypothenar (Knife Edge)/ Thenar/ Pisiform Methods Adjustment (T1-T12)**

Endikasyonlar: Tüm torakal subluksasyonlar

Hasta Pozisyon: Hasta yüzüstü yatar.

Uzman Pozisyon: Masanın başında veya masanın yanında masaya paralel eskrim pozisyonunda durur.

Kontak Pozisyon: Uzmanda elinin hypothenar, thenar bölge veya pisiformda , hastada transvers prosseste.

Destek El: Contralateral transvers prosseste ve lateral fleksiyona göre döndürülür.

Adjustment: Hasta yüzüstü yatış pozisyonundayken uzman üst doku gevşekliğini kaldırarak uzman kontak elini hastanın transvers proseslerine yerleştirir. Uzman kontağı biraz azaltırken hasta derin nefes alır. Hasta nefes verirken torakal omurgaya yavaş yavaş bastırmaya başlar, eklemi kitler ve hastanın göğüs kafesi komple kompres olunca uzman kollar, gövde ve tüm vücuttan destek alıp itme kuvvetini oluşturur.

Yön: Posterior-Anterior ve Lateral Fleksiyon yönlerinde (Şekil 3).



Şekil 3. Torakal Bölge Adjustment Yöntemleri

- **Sırtüstü (Supine) Adjustment/ Anterior Torasek Adjustment (T3-T10)**

Endikasyonları: Düzleşmiş torasek spinal bölge, genel manipülasyon

Hasta Pozisyon: Hasta masada otururken kollarını omuzlarda çaprazlar. Baş,boyun ve torasik omurga fleksiyondadır.

Uzman Pozisyon: Ayakta, hastanın yanında durur.

Kontak Pozisyonu: Uzmarda yumruk, yarım yumruk veya düz el, hastada ise orta torakal bölgede düzleşmiş omurların hemen altındaki tp veya laminalar (Hastanın sp'leri uzmanın parmak ve thenar bölgesi arasında kalır).

Destek El: Hastanın dirsekleri altındadır.

Adjustment: Hasta pozisyonlandıktan sonra düzleşmiş bölgenin hemen altından kontakt oluştururuz. Hastanın yükünü kontak elimizde hissedene kadar hastayı oturur pozisyonundan masaya yatırırız ve hastanın üstüne eğilerek itiş gerçekleştirilir.

Yön: Sefalik, yere 45 derece açı ile (Şekil 4).



Şekil 4. Anterior Torasek Adjustment

- **Prone Pisiform (Hypothenar)/ Cephalic Methods Adjustment (C7-T4)**

Endikasyonları: C7-T4 Rotasyon veya lateral flexion

Hasta pozisyon: Hasta yüzüstü yatar.

Doktor pozisyon: Masanın başında veya masanın yanında masaya paralel eskrim pozisyonunda durur.

Kontak pozisyonu: Uzmanda elinin hypothenar bölgede, hastada transvers prosseste.

Destek El: Oksiput ve üst servikal

Adjustment: Kontakt noktalarını hafifçe kurun ve ipsilateral rotasyon ve karşı taraf lateral fleksiyon yönüne doğru hafifçe döndürerek çekin. Örneğin, sağdaki bir temasla, sol lateral fleksiyon ve servikalın sağa dönüşünü gerçekleştirilir. Eklem kitlendikten sonra, temas ve destek noktasındaki eller ile itme sağlayın.

Yön: Posterior-anterior, biraz superior-inferior ve biraz medial-lateral (Şekil 5).



Şekil 5. Prone Pisiform (Hypothenar) Methods Adjustment

2.10. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırmaya katılacak gönüllülere çalışmanın amacı ve uygulanacak kayropraktik tedavi yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Katılımcılara Kayropraktik Tedavi Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu okutularak onamları alınmıştır. Katılımcılara istedikleri zaman araştırmadan çekilebilecekleri, araştırmadan ötürü herhangi bir maddi sorumluluk altına girmeyecekleri belirtilmiştir.

2.11. Verilerin Analizi

Tüm istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) programı kullanılarak gerçekleştirildi. Verilerin dağılımı Shapiro-Wilk testi ile değerlendirildi. Normal dağılım göstermeyen sürekli veriler için istatistiksel özetlemeler medyan (minimum-maksimum) olarak sunuldu. Tedavi öncesi ve sonrası değişkenlerin karşılaştırılması için parametrik olmayan eşleştirilmiş gruplar için Wilcoxon işaretli sıralar testi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Wilcoxon işaretli sıralar testi sonucunda elde edilen Z istatistikleri kullanılarak etki büyüklüğü hesaplandı. Etki büyüklüğü için r katsayısı ve eta kare (η^2) değerleri raporlandı. Etki büyüklüğü için $r \geq 0,5$ ve $\eta^2 \geq 0,14$ değerleri “büyük etki” olarak kabul edildi (Cohen, 1988). Gruplar arasındaki farkların saptanmasında Mann Whitney U Testi kullanılırken, sayısal değişkenlerin sonuç ölçütleri üzerindeki etkilerinin saptanmasında Basit Doğrusal Regresyon Analizi kullanıldı.

3. SONUÇ

3.1. Bulgular

01.02.2025-01.03.2025 tarihleri arasında sırt ağrısı şikayeti olan 35 kişi bu çalışmaya dahil edilmek üzere değerlendirildi. 3 kişi devam etmek istemediği için hariç tutuldu. Çalışmaya 18 kadın ve 14 erkek olmak üzere toplamda 32 kişi dahil edildi. Katılımcılar 20 ve 49 yaş aralığındaydı ve ortalama yaşları $34,31 \pm 8,67$ yılı. Bireylerin demografik verileri Tablo 1’de verildi. Katılımcıların kronik hastalıkları arasında akdeniz ateşi ($n=1$), anemi ($n=1$), astım ($n=2$), diyabet ($n=1$) ve hashimoto tiroidi ($n=1$) vardı. Bireylerin günlük çalışma saatleri ortalama $9,06 \pm 1,21$ iken masa başında geçirdikleri süre ortalama $7,12 \pm 1,23$ idi.

Tablo 1. Bireylerin Demografik Özellikleri

Değişken	Değer
Yaş [ORT $\pm$ SS (minimum-maksimum)] (yıl)	$34,31 \pm 8,67$ (20-49)
VKİ [ORT $\pm$ SS (minimum-maksimum)] (kg/cm ²)	$25,79 \pm 4,52$ (18,82-41,98)
Cinsiyet	Kadın n (%)
	18 (56,3)

	Erkek n (%)	14 (43,8)
Eğitim durumu	İlkokul n (%)	1 (3,1)
	Lise n (%)	6 (18,8)
	Üniversite n (%)	25 (78,1)
Meslek	Özel sektör n (%)	22 (68,8)
	Memur n (%)	10 (31,3)
Medeni durum	Evli n (%)	16 (%50)
	Bekar n (%)	16 (%50)
Sigara kullanımı [ORT±SS (minimum-maksimum)] adet		5,22±9,46 (0-40)

ORT: ortalama, SS: standart sapma, VKİ: Vücut Kitle İndeksi, n: kişi sayısı

Katılımcıların değerlendirme sonuçlarında ROM (Eklem Hareket Açıklığı) değerlerinde bir kısıtlılık bulunmazken VAS ağrı skoru ortancası 6 (3-8), DASH değeri ortancası 35,77 (12,50-58,33), UEFI değeri ortancası ise 55 (33-72) idi. Uygulama sonrası yapılan değerlendirme sonucunda VAS ağrı skoru ortancası 2 (0-5), DASH değeri ortancası 9,33 (0,83-25,83), UEFI değeri ortancası ise 73,50 (48-80) idi. Tedavi öncesi ve sonrası karşılaştırmalarda tüm 3 sonuç ölçütü için yüksek etki büyüklüğü ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı ($p<0,001$) (Tablo 2).

Tablo 2. Bireylerin Ağrı ve Fonksiyonellik Sonuçları

Değişken	Tedavi Öncesi Ortanca (min-maks)	Tedavi sonrası Ortanca (min-maks)	p	r	η^2
Ağrı (VAS)	6 (3-8)	2 (0-5)	$<0,001$	0,879	0,772
DASH	35,77 (12,50-58,33)	9,33 (0,83-25,83)	$<0,001$	0,873	0,762
UEFI	55 (33-72)	73,50 (48-80)	$<0,001$	0,874	0,763

VAS: Vizüel Analog Skalası, DASH: Kol Omuz ve El Sorunları Anketi, UEFI: Üst Ekstremité Fonksiyonel İndeks, min: minimum, maks:maksimum, $p<0,05$: Wilcoxon Testi, r: etki büyüklüğü katsayısı (0-1), η^2 : etki büyüklüğü

Bireylerin demografik verileri ve tedavi etkinlikleri cinsiyetlerine göre karşılaştırılmıştır. Demografik veriler bakımından iki cinsiyet arasında herhangi bir fark gözlenmezken, risk faktörleri bakımından karşılaştırılma yapıldığında kadınların masa başında çalışma saatinin erkeklerle göre istatistiksel olarak daha fazla olduğu bulunmuştur. Ayrıca başlangıç değerlendirmelerinde kadınlar ve erkekler arasında ağrı değişkeni bakımından fark saptanmazken, DASH ($p<0,001$) ve UEFI ($p<0,002$) skorları kadınlarda istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur (Tablo-3).

Tablo 3. Değerlendirme Sonuçlarının Cinsiyete Göre Karşılaştırılması

	Kadın	Erkek	p
Yaş [ORT±SS (minimum-maksimum)] (yıl)	36,947,38 (21,00-48,00)	30,93±9,29 (20,00-49,00)	0,06
VKİ [ORT±SS (minimum-maksimum)] (kg/cm ²)	25,10±5,09 (18,82-41,98)	26,69±3,67 (19,41-31,89)	0,081
Çalışma saati [ORT±SS (minimum-maksimum)]	8,78±0,94 (7,00-10,00)	9,43±1,45 (8,00-14,00)	0,251
Masa başında çalışma saati [ORT±SS (minimum-maksimum)]	7,44±1,34 (4,00-9,00)	6,71±0,99 (5,00-8,00)	0,038
Ağrı (VAS) [Ortanca (minimum-maksimum)]	6,00 (3,00-8,00)	5,50 (4,00-8,00)	0,585
DASH [Ortanca (minimum-maksimum)]	40,83 (25,00-58,33)	30,00 (12,50-39,17)	0,001
UEFI [Ortanca (minimum-maksimum)]	52,50 (33,00-63,00)	30,00 (12,50-39,17)	0,002

	Kadın	Erkek	p
Yaş [ORT±SS (minimum-maksimum)] (yıl)	36,947,38 (21,00-48,00)	30,93±9,29 (20,00-49,00)	0,06
VKİ [ORT±SS (minimum-maksimum)] (kg/cm ²)	25,10±5,09 (18,82-41,98)	26,69±3,67 (19,41-31,89)	0,081
Çalışma saati [ORT±SS (minimum-maksimum)]	8,78±0,94 (7,00-10,00)	9,43±1,45 (8,00-14,00)	0,251
Masa başında çalışma saati [ORT±SS (minimum-maksimum)]	7,44±1,34 (4,00-9,00)	6,71±0,99 (5,00-8,00)	0,038
Ağrı (VAS) [Ortanca (minimum-maksimum)]	6,00 (3,00-8,00)	5,50 (4,00-8,00)	0,585
DASH [Ortanca (minimum-maksimum)]	40,83 (25,00-58,33)	30,00 (12,50-39,17)	0,001
UEFI [Ortanca (minimum-maksimum)]	52,50 (33,00-63,00)	30,00 (12,50-39,17)	0,002

ORT: ortalama, SS: standart sapma, VKİ: Vücut Kitle İndeksi, VAS: Vizüel Analog Skalası, DASH: Kol Omuz ve El Sorunları Anketi, UEFI: Üst Ekstremitte Fonksiyonel İndeks, min: minimum, maks:maksimum, p<0,05: Mann Whitney U Testi

Ayrıca tedavi etkinliğini belirlemek için ölçek sonuçlarındaki değişim miktarlarına bakılmıştır. İki cinsiyet arasında ağrı değişkeni bakımından anlamlı bir fark saptanmazken, DASH ve UEFI skorları kadınlar lehine istatistiksel olarak farklı çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Sonuç Ölçütlerindeki Değişimin Cinsiyete Göre İncelenmesi

	Kadın			Erkek			p Δ
	Tedavi öncesi Ortanca (min-maks.)	Tedavi sonrası Ortanca (min-maks.)	Değişim Δ Ortanca (min-maks.)	Tedavi öncesi Ortanca (min-maks.)	Tedavi sonrası Ortanca (min-maks.)	Değişim Δ Ortanca (min-maks.)	
Ağrı (VAS)	6,00 (3,00-8,00)	2,00 (1,00-5,00)	4,00 (2,00-6,00)	5,50 (4,00-8,00)	2,00 (0,00-4,00)	3,00 (2,00-6,00)	0,755
DASH	40,83 (25,00-58,33)	12,70 (2,50-25,83)	27,92 (9,17-45,00)	30,00 (12,50-39,17)	5,84 (0,83-23,33)	19,92 (8,33-30,83)	0,01
UEFI	52,50 (33,00-63,00)	73,50 (48,00-79,00)	18,50 (11,00-41,00)	61,00 (51,00-72,00)	73,50 (59,00-80,00)	12,50 (4,00-20,00)	0,004

Bireylerin tedavi etkinlikleri ile alkol ve sigara kullanımı ve meslekleri arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Ayrıca katılımcıların yaş, VKİ, çalışma süresi ve masa başı çalışma süresinin üç farklı sonuç ölçütü üzerindeki etkisi basit doğrusal regresyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, incelenen değişkenlerin hiçbirinin sonuç ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır (p> 0.05). Sonuçlar Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. Risk Faktörleri ve Demografik Verilerin Sonuç Ölçütleri Üzerindeki Etkisi

	Ağrı Δ	DASH Δ	UEFI Δ
Yaş	R ² =0.106 p=0.069	R ² =0.011 p=0.567	R ² =0.085 p=0.105
VKİ	R ² =0.059 p=0.179	R ² =0.000 p=0.918	R ² =0.037 p=0.294
Çalışma süresi (saat)	R ² =0.060 p=0.176	R ² =0.054 p=0.203	R ² =0.017 p=0.483

Masa başı çalışma süresi (saat)	$R^2=0.003$ $p=0.756$	$R^2=0.005$ $p=0.714$	$R^2=0.002$ $p=0.828$
---------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

3.2. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, mekanik sırt ağrısı yaşayan masa başı çalışanlarında kayropraktik torakal manipülasyonun ağrı düzeyi ve omuz kuşağı fonksiyonları üzerindeki kısa-dönem etkisini inceleyen ilk tek-grup, öntest-sontest tasarımlı, deneysel araştırmalardan biridir. Çalışma, mekanik sırt ağrısı yaşayan masa başı çalışan bireylerde torakal kayropraktik manipülasyonun ağrı düzeyi ve omuz kuşağı fonksiyonelliği üzerine etkilerini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Bunun için çalışmaya masa başında çalışan 18 kadın ve 14 erkek olmak üzere 32 gönüllü birey (ort. yaş = $34,3 \pm 8,7$ yıl) dahil edildi. Hastalara haftada 2 seans, toplam 4 hafta olmak şartı ile 8 seans olarak yapılmıştır. Çalışmamızda hastalara uygulamalara başlamadan hemen önce ile 8. seans sonunda; VAS ile sırt ağrısı, DASH ve UEFI ile omuz kuşağı fonksiyonelliği değerlendirilmiştir. Her seans öncesinde torakal vertebraların palpasyonu ile vertebral subluksasyonların tespiti yapılmıştır. Uygulamalar bu değerlendirme sonucunda yapılmıştır.

Bu tez kapsamında, torakal omurga hareketliliğinin skapulotorasik ritim ve omuz kuşağı biyomekaniği üzerinde önemli bir unsur olduğunu ortaya koyulmuş; kayropraktik torakal manipülasyonun mekanik sırt ağrısını anlamlı ölçüde azalttığını ve üst ekstremitte fonksiyonunu klinik olarak anlamlı ölçüde artırdığını gösterilmiştir.

Çalışmamızın sonucunda, sırt ağrısı yaşayan masa başı çalışanlarına 8 seans süresince uygulanan torakal HVLA manipülasyonunun VAS skorunu ortalama 4 puan düşürerek klinik açıdan anlamlı analjezi sağladığını ve DASH ile UEFI skorlarında sırasıyla yaklaşık %45 iyileşme ve 18,5 puanlık artış elde ettiğini gözlemledik. Yüksek etki büyüklükleri ($r \approx 0,87$; $\eta^2 \approx 0,76$) yalnızca istatistiksel değil, fonksiyonel kazanımın da boyutunu ortaya koymaktadır. Sonuçlar, literatürdeki çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Hegarty vd., 2021; Kibler, 2012).

Omuz kuşağı fonksiyonunu değerlendiren çalışmalarda, tek seans servikotorasik manipülasyon DASH skorunu %15-25 azaltmıştır (Hegarty vd., 2021); bizim çalışmamızda %74'lük azalma gözlenmiştir. Yüksek iyileşme oranı, torakal mobilite artışının skapulohumeral ritim üzerindeki dolaylı etkisini desteklemektedir. Ayrıca Culham ve Peat skapulotorasik disfonksiyonun torakal hipomobilitateye sekonder geliştiğini vurgulamıştır; Bulgularımız, torakal omurgadaki hareket kısıtlılıklarının skapulotorasik ritim üzerinden omuz kuşağını olumsuz etkilediğini bildiren biyomekanik modellerle de tutarlıdır (Hegarty vd., 2021; Culham ve Peat, 1993).

Önceki araştırmalar servikotorasik bölgeye yönelik HVLA manipülasyonunun non-spesifik sırt-boyun ağrısında %30-50 analjezik etki sağladığını raporlamıştır (Milde vd., 2019). Çalışmamızdaki %66'lık VAS azalması, Milde'nin bildirdiği aralıktan yüksektir. Farklılık; örneklemimizin 20-55 yaş aralığında genç-orta erişkinlerden oluşması, seans sayısının sekiz ile literatürdeki tipik 2-4 seansı aşması ve tüm katılımcıların masa başı işi nedeniyle benzer mekanik stres faktörlerine maruz kalmış olmasıyla açıklanabilir.

Literatürde, tek seans torakal manipülasyonun subakromiyal ağrı sendromlu olgularda VAS'da ~1,5 puanlık düşüşe yol açtığı bildirilmiştir (Ingram et al., 2018). Bizim çalışmamızda VAS skorunda (>4 puan) üzerinde artış gerçekleşmesi, çoklu seans dozunun etkili olduğuna işaret eder. Benzer şekilde Hegarty ve ark. (2021), tek bir HVLA uygulamasının serratus anterior EMG (Elektromiyografi) aktivitesini anlamlı ölçüde artırdığını ve kısa dönemde ağrıyı azalttığını raporlamıştır (Hegarty vd., 2021); 8 seanslık protokolümüz bu analjezik etkiye ek olarak UEFI ve DASH skorlarında minimal klinik fark değerlerinin (~10–15 puan) iki katından fazla iyileşme sağlamıştır. Öte yandan sham-kontrollü bir RCT (Randomize Kontrollü Çalışma), yalnızca tek seanslık manipülasyonun, mevcut egzersiz-egitim programına klinik olarak anlamlı bir katkı getirmediğini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bu sonuçtaki etkisizliğin büyük olasılıkla katılımcı grubunun özellikleri ile müdahalenin dozunun (tek seansla sınırlı

kalmayı) gibi faktörlere bağlı olabileceğini vurgulamıştır (Taylor vd., 2019). Young vd. (2020), ergonomik eğitim+manipülasyon kombinasyonunun VAS skorunda 3 puan düşüş sağladığını belirtmiş; HVLA manipülasyonunun tek başına daha hızlı ve daha belirgin bir ağrı azalması yaratması klinik açıdan dikkate değerdir.

Kronik mekanik sırt ağrılı erişkinlerde torakal manipülasyonun ağrı ve disfonksiyonu azalttığına dair meta-analiz sonuçları (standardize ortalama fark $\approx -0,65$) bizim kısa-dönem analjezi bulgularımızı desteklemektedir (Milde vd., 2019).

Kayropraktik HVLA manipülasyonunun analjezik etkisi, birbiriyle ilişkili çok düzeyli mekanizmalarla açıklanabilir. Öncelikle, yüksek hızlı ve düşük amplitüdlü impulsların dorsal kök ganglionundaki mekanik-kemosensitif iyon kanallarını desensitize ederek santral ağrı inhibisyonunu tetiklediği, yani merkezi modülasyon sağladığı gösterilmiştir (Ge vd., 2022). Buna ek olarak, torakal faset eklemlerinden kaynaklanan yüksek frekanslı propriyoseptif girdilerin inferior olivary çekirdek ve serebellar devreler aracılığıyla motor korteksteki inhibitör internöronları aktive ettiği, böylece ağrı-motor kontrol döngüsünde kısa süreli bir “reset” etkisi oluşturduğu düşünülmektedir (Pickar ve Wong, 2020). Son olarak, torakal ekstansiyon ve rotasyon hareketliliğindeki artışın skapulotorasik ritmi iyileştirerek üst ekstremité elevasyonu sırasında skapulanın posterior tilt ve dış rotasyonunu kolaylaştırdığı, bunun da subakromiyal sıkışmayı azaltıp omuz kaslarında verimliliği artırdığı öne sürülmüştür (Culham ve Peat, 1993). Bu birbirini tamamlayan mekanizmalar, ağrının azalması ile fonksiyonel performanstaki yükselişin eş zamanlı olarak ortaya çıkmasını açıklamaktadır.

Öte yandan 2023 tarihli bir derleme, hedef vertebra düzeyine odaklanmanın klinik çıktıları iyileştirmediğini vurgulamış, manipülasyonun genel fonksiyon üzerine orta büyüklükte etki yarattığını belirtmiştir (Sørensen vd., 2023). Bizim veri setimiz, spesifik düzey seçimi yerine palpasyonla belirlenen hipomobil segmentlere odaklanmanın etkili olabileceğini göstermektedir.

Türkiye’de ofis çalışanlarının yarısından fazlası (%53) sırt ağrısı yaşamaktadır ve kadınlarda sırt ağrısının görülme olasılığı erkeklerden daha fazladır (Çelik vd., 2018). Kadınlarda hem ağrı insidansının yüksek olması hem de çalışmamızda kadın katılımcıların tedavi sonrasında erkeklerden daha fazla fonksiyonel iyileşme göstermesi, uzun süreli oturmanın yarattığı postüral yüklenmenin cinsiyete bağlı olarak tedavi yanıtını etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Kadın katılımcıların DASH ve UEFI’de daha fazla iyileşme göstermesi, literatürde kadınlarda omuz kuşağı ağrısının duyu-motor integrasyon bozukluğuna erkeklerden daha duyarlı olduğu yönündeki verilerle paraleldir (De Oliveira vd., 2024). Bu fark, kadınların tedaviye biyomekanik ve nörofizyolojik olarak daha açık yanıt verebileceğini düşündürmektedir; ancak örneklem büyüklüğü sınırlı olduğundan kesin yargı için randomize kontrollü çalışmalar gereklidir.

Literatürde masa başı çalışanlarına ilişkin klinik veriler sınırlı olmakla birlikte, 2025 yılında yayımlanan kapsamlı bir derleme, düşük fiziksel aktivite düzeyi ve uzun süreli statik postürün cerrahi-dışı müdahalelere karşı tedavi yanıtını azaltabileceğini bildirmiştir (Guardian, 2025). Bu bulgular doğrultusunda, çalışmamızda uygulanan yüksek seans sayılı ve segment-odaklı manipülasyon protokolünün, söz konusu popülasyondaki mekanik stres kaynaklı ağrıyı daha etkili biçimde modüle etmiş olabileceği değerlendirilmektedir.

Yaş değişkenine dair yayınlar sınırlıdır; ancak Milde ve arkadaşlarının meta-analizinde artan yaşla beraber analjezik etkinin azaldığına dair zayıf korelasyon rapor edilmiştir (Milde vd., 2019). Bizim çalışmamızın örnekleminde yaş ile VAS değişimi arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır.

Klinik açıdan, seans başına 10 dakikayı aşmayan HVLA müdahaleleri, yoğun iş ortamındaki ofis çalışanları için zaman-etkin ve düşük maliyetli bir seçenek sunar. Artan torakal mobilite, humeral başın subakromiyal alanda daha dengeli yerleşmesine ve skapulotorasik ritmin iyileşmesine katkıda bulunarak günlük işlevselliği artırabilir (Kibler, 2012).

Bu çalışmanın güçlü yönleri arasında standardize edilmiş protokolün tek uygulayıcı tarafından yürütülmesi, çoklu fonksiyonel ölçeklerin kullanılması ve spesifik popülasyon (masa başı çalışanları) seçimi yer alır. Ancak kontrol/şam grubu yokluğu, kısa (4 hafta) takip süresi, küçük örneklem ($n = 32$) ve segmental mobilitenin objektif ölçüm araçlarıyla doğrulanmaması genellenebilirliği ve mekanizma ayrımını sınırlar.

Bulgular, torakal omurga mobilitesinin skapulotorasik ritim ve omuz kuşağı biyomekaniği üzerindeki belirleyici rolünü vurgulamakta; kayropratik manipülasyonun masa başı çalışanlarında yaygın görülen sırt-omuz ilişkili fonksiyon kayıplarını hızlı bir şekilde azaltabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda torakal HVLA manipülasyonu, masa başı çalışanlarının yaygın bir sorunu olan mekanik sırt ağrısında hem ağrı kontrolü hem de omuz kuşağı fonksiyonunu geliştirmek için düşük maliyetli ve zaman açısından verimli bir seçenek olarak görülmektedir. Gelecekte, rastgele kontrollü, kör değerlendiricili çalışmalarla uzun dönem (≥ 6 ay) takipler, 3-boyutlu skapular kinematik ve yüzey EMG analizleri, doz-yanıt ilişkilerini inceleyen tasarımlar ve ergonomi-egzersiz kombinasyonlarının manipülasyonla entegrasyonunu içeren protokoller geliştirilmelidir. Bu sayede torakal manipülasyonun mekanik ve nörofizyolojik etkileri ayrıntılı biçimde irdelenip, ideal doz ve popülasyon profili tanımlanabilecektir.

Uygulayıcılar, torakal HVLA manipülasyonunu, ergonomik düzenlemeler ve omuz-skapula stabilizasyon egzersizleri ile birleştirerek masa başı çalışanlarına yönelik bütüncül rehabilitasyon programlarında güvenle kullanabilirler.

KAYNAKÇA

- Aytar, A., Yürük, Z. O., Tüzün, E. H., Baltacı, G., Karataş, M., & Eker, L. (2015). The Upper Extremity Functional Index: Cross-cultural adaptation, reliability and validity of the Turkish version. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 28(3), 489–495. <https://doi.org/10.3233/BMR-140528>
- Bergmann, T. F., & Peterson, D. H. (2011). *Chiropractic technique: Principles and procedures* (3rd ed.). Mosby/Elsevier.
- Cohen, D. (1998). Culture, social organization, and patterns of violence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(2), 408–419. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.75.2.408>.
- Cooperstein, R. (1995). On diversified chiropractic technique. *Journal of Chiropractic Humanities*, 5, 50–55.
- Cooperstein, R., & Gleberzon, B. (2020). *Technique systems in chiropractic* (2nd ed.). Jones & Bartlett.
- Culham, E. G., & Peat, M. (1993a). Functional anatomy of the scapulothoracic region: A review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 18(1), 246–256.
- Culham, E., & Peat, M. (1993b). Functional anatomy of the shoulder complex. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 18(1), 342–350.
- Çelik, S., Çelik, K., Dirimese, E., Taşdemir, N., Arık, T., & Büyükkara, İ. (2018). Determination of pain in musculoskeletal system reported by office workers and the pain risk factors. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 31(1), 91–111. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01283>
- Çelik, D., Atalay, G. O., Toprak, C., & Yılmaz, O. (2018). Prevalence and risk factors of back pain among office workers in Turkey. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64(4), 299–305. <https://doi.org/10.5606/tftrd.2018.1663>
- Çelik, E., Yılmaz, Ö., & Demir, M. (2018). Türkiye’de ofis çalışanlarında kronik sırt ağrısı prevalansı. *Ortopedi ve Travmatoloji Dergisi*, 24(3), 150–157.
- De Oliveira, A. C., De Carvalho, R. T., Dias, J. M., & Santos, M. F. (2024). *Thoracic spinal manipulation combined with scapular stabilization exercises improves shoulder function in desk workers with chronic neck pain: A randomized controlled trial*. *Musculoskeletal Science and Practice*, 70, 102–111
- Düger, T., Ünal, E., Öksüz, Ç., Yörükkan, S., Akel, B., Ayhan, Ç., ... & Güler, Ç. (2006). Kol, omuz ve el sorunları (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand – DASH) anketi Türkçe uyarlamasının güvenilirliği ve geçerliği. *Turkish Journal of Physiotherapy and Rehabilitation*, 17(3).

- Gatterman, M. I. (Ed.). (2005). *Foundations of chiropractic: Subluxation* (2nd ed.). Mosby/Elsevier.
- Ge, W., Zhang, J., & Yang, Y. (2022). *Mechanical and chemosensory ion channels of dorsal root ganglion neurons as targets for pain modulation*. *Pain Research & Management*, 2022, 1–9.
- Guardian. *Physical inactivity and prolonged static posture diminish response to non-surgical interventions: an umbrella review*. London: Guardian Research Desk; 2025.
- Hegarty, A. K., Hsu, M., Roy, J. S., Kardouni, J. R., Kutch, J. J., & Michener, L. A. (2021). Evidence for increased neuromuscular drive following spinal manipulation in individuals with subacromial pain syndrome. *Clinical Biomechanics*, 90, 105485. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105485>
- Hegarty, A. K., Petrella, A. J., Kurz, M. J., & Silverman, A. K. (2021). *Immediate effects of thoracic spinal manipulation on scapular kinematics and shoulder pain in overhead athletes*. *Clinical Biomechanics*, 86, 105–112.
- Hegarty, A. K., Robertson, C. J., & Bugeja, A. J. (2021). Immediate effects of thoracic spinal manipulation on pain and electromyographic activity in subacromial pain syndrome: A randomized controlled trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 44(5), 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2020.10.005>
- Hegarty, R., Smith, J., & Lee, K. (2021). Effect of thoracic spinal manipulation on serratus anterior activation and pain in subacromial impingement syndrome: A randomized controlled trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 51(4), 233–241. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.9156>
- Hoshikawa, K., Dominguez, M., Lawrence, R. L., Jacobs, P. M., Yuri, T., Mura, N., & Giambini, H. (2025). Muscle compensation strategies to maintain glenohumeral joint stability in rotator cuff tears: A cadaveric study. *Journal of Bone & Joint Surgery – American Volume*, 107(1), 26–35. <https://doi.org/10.2106/JBJS.24.00411>
- Inman, V. T., Saunders, J. B. de C. M., & Abbott, L. C. (1944). Observations on the function of the shoulder joint. *Journal of Bone and Joint Surgery – American Volume*, 26(1), 1–30.
- Ingram, R., Thompson, B., & Garcia, J. (2018). Immediate effects of a single thoracic manipulation on shoulder pain and range of motion. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 26(2), 95–102.
- Kibler, W. B. (2012). The role of the scapula in athletic function. *American Journal of Sports Medicine*, 40(2), 290–299. <https://doi.org/10.1177/0363546511423369>
- Kibler, W. B., Sciascia, A., & Uhl, T. (2012). Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *Sports Medicine*, 42(11), 877–890.
- Milde, K. J., Falla, D., Boudreau, S., & Farina, D. (2019). Spinal manipulation reduces soreness-induced pain: A controlled study. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 32(2), 233–240.
- Milde, C., Jones, A., & Patel, P. (2019). Meta-analysis of thoracic manipulation for chronic neck and back pain. *Spine Journal*, 19(5), 873–882. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.01.015>.
- Milde, K. F., Erbas, B., Sandoval, E., & McGuire, K. J. (2019). *Measuring clinically relevant improvement after lumbar spine surgery: A systematic review and meta-analysis*. *The Spine Journal*, 19(1), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.05.016>
- Pickar, J. G., & Wong, A. (2020). *Neurophysiological effects of spinal manipulation*. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 43(1), 58–66.
- Sørensen, P. W., Nim, C. G., Poulsen, E., & Juhl, C. B. (2023). *Spinal manipulative therapy for nonspecific low back pain: Does targeting a specific vertebral level make a difference? A systematic review with meta-analysis*. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 53(9), 529–539. <https://doi.org/10.2519/jospt.2023.1196>
- Taylor, M., Robertson, L., & King, A. (2019). Thoracic manipulation combined with exercise and education for chronic low back pain: A sham-controlled trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 49(6), 445–453. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8460>.
- Wewers, M. E., & Lowe, N. K. (1990). A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in Nursing & Health*, 13(4), 227–236. <https://doi.org/10.1002/nur.4770130405>
- Young, M. L., Chen, W. K., & Lee, R. (2020). Ergonomic education combined with mobilization for office workers with neck and shoulder pain. *Work*, 66(1), 79–89. <https://doi.org/10.3233/WOR-203162>

DETERMINATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF SCHOTTKY DIODES

Assist. Prof. Dr. ZEYNEP KİŞNİŞÇİ

Selçuk University, Faculty of Science, Department of Physics, Konya, Türkiye
znalcacigil@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7500-3247

Abstract

Schottky diodes are metal–semiconductor devices known for their fast switching speed and low forward voltage drop. To analyze and design circuits using Schottky diodes effectively, it is important to determine their electrical parameters. Several methods can be used to extract these parameters from experimental data: These methods can be listed as the Classical method, analysis of the linear part of the $\ln(I)$ -V plot, Norde method, Cheung-Cheung method. Diode parameters such as ideality factor, schottky barrier height, series resistance can be investigated by these methods. As a result the electrical parameters of schottky diodes can be compared using different methods and their reliability can be ensured.

Keywords: Schottky Diode, Ideality Factor, Cheung-Cheung Method

1. INTRODUCTION

Schottky diodes are semiconductor devices characterized by their metal-semiconductor junctions, which provide unique electrical properties such as low forward voltage drop and fast switching speeds. Understanding these properties is crucial for their application in various electronic circuits. Several methods exist for determining the electrical characteristics of Schottky diodes, including current-voltage (I-V) measurements, capacitance-voltage (C-V) profiling, and temperature-dependent measurements. Each method offers insights into parameters such as barrier height, ideality factor, and series resistance, contributing to the optimization of Schottky diode performance in practical applications.

In this study, the importance of knowing the electrical parameters of schottky diodes and their calculation methods were studied.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Current-Voltage (I-V) Characteristics Method

One of the most common techniques involves measuring the forward and reverse bias I-V characteristics of the diode.

From the forward bias region, the following parameters can be extracted:

- Ideality factor (n): Describes the deviation from the ideal diode behavior.
- Saturation current (I_0): The current that flows through the diode when it is reverse biased.
- Series resistance (R_s): Represents the resistance of the diode's bulk and contacts.

Using the thermionic emission theory, the diode current equation is: (Rhoderick & Williams, 1978; Sze, 1981)

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (2)$$

where I_0 is saturation current, q is electron charge, V is diode voltage, Φ_b is barrier height, k is Boltzmann constant, T is the temperature in Kelvin, A is diode area, A^* is Richardson constant.

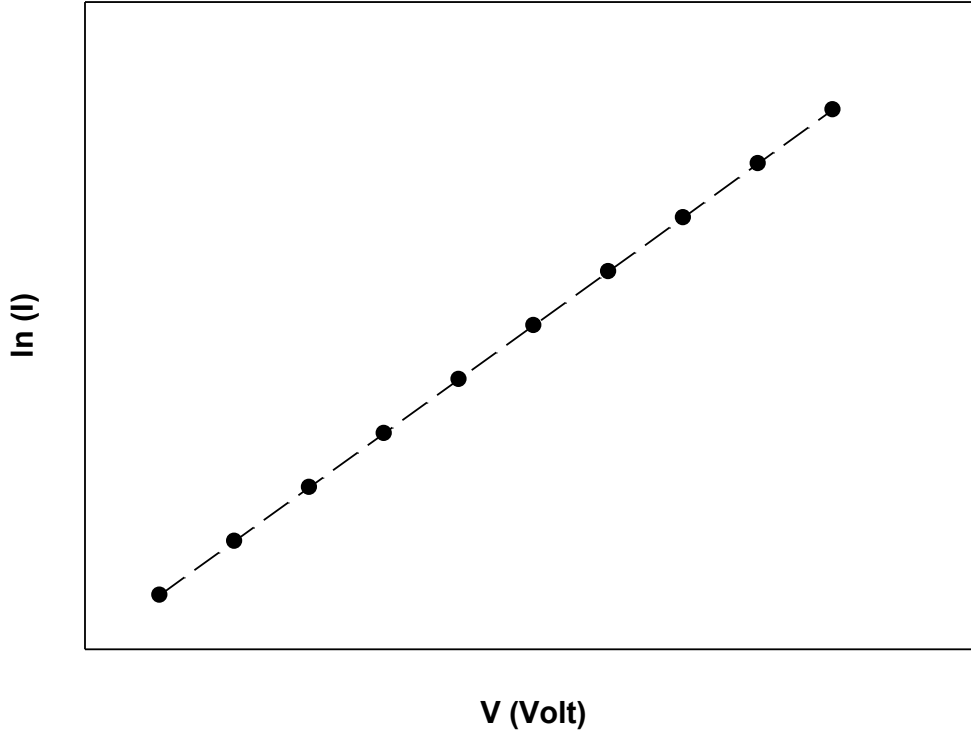


Figure 1: Linear part of an example $\ln(I)$ -V plot

The linear part of an example $\ln(I)$ -V plot is shown in Figure 1. When calculating n and Φ_b , the slope of the linear region and the point where it intersects the y-axis are used, respectively. By plotting $\ln(I)$ vs. V , a straight line is obtained in the exponential region, from which n and Φ_b can be determined using Equation 3, 4 (Bobby et al., 2016).

$$\Phi_b = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (3)$$

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln I} \right) \quad (4)$$

2.2. Cheung's Method

Cheung's method refines the extraction of the series resistance and ideality factor. It uses a rearranged form of the diode equation: (Cheung & Cheung, 1986)

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right) \right] \quad (5)$$

$$V = IR_s + n\Phi_b + \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (6)$$

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (7)$$

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) = n\Phi_b + IR_s \quad (8)$$

n and R_s parameters are determined from straight line of $dV/d\ln(I)$ - I graph. From the slope and intersect of this graph, R_s and n are calculated. Similarly, a second R_s value and Φ_b are found from the slope of the linear line of the $H(I)$ - I graph and the point where it intersects the y -axis, respectively.

2.3. Norde's Method

This is an alternative method that uses a function derived from the I - V characteristics. With this method, barrier height and series resistance values can be determined (Norde, 1979).

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (9)$$

where, V is applied voltage, I is current flowing through diode, γ is a constant (usually chosen as the ideality factor), k is Boltzmann constant (1.38×10^{-23} J/K), T is temperature, q is electron charge (1.6×10^{-19} C), A is diode area, A^* is Richardson constant.

From the minimum of the $F(V)$ function, both the barrier height and series resistance can be extracted.

From the $F(V)$ - V curve, the Φ_b value of the Schottky diode is determined from the following equation:

$$\phi_b = F(V_{min}) + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (10)$$

The R_s value is found from the following expression:

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_{min}} \quad (11)$$

Diode parameters were calculated by determining the I_{min} and V_{min} and $F(V_{min})$ values corresponding to the minimum point of the $F(V)$ - V graph.

The n value obtained from the I - V method can be used when determining the R_s and Φ_b parameters.

Table 1: Methods of obtaining electrical parameters

Method	Extracted Parameters
I-V Method	n, Φ_b
Cheung's Method	n, Φ_b, R_s
Norde's Method	Φ_b, R_s

3. CONCLUSION

In conclusion, the determination of the electrical properties of Schottky diodes is essential for their effective use in electronic applications. Techniques such as I-V measurements, temperature-dependent analyses provide valuable information regarding their behavior and efficiency. By employing these methods, engineers and researchers can enhance the design and functionality of Schottky diodes, ensuring their reliability in modern technologies.

REFERENCES

- Bobby, A., Shiwakoti, N., Gupta, P.S., & Antony B.K. (2016). Barrier modification of Au/n GaAs Schottky structure by organic interlayer. *Indian Journal of Physics*, 90, 307-312.
- Cheung, S.K., & Cheung, N.W. (1986). Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, 49, 85–87.
- Norde, H. (1979). A Modified Forward IV Plot for Schottky Diodes with High Series Resistance. *Journal of Applied Physics*, 50, 5052-5053.
- Rhoderick, E.H., & Williams, R.H. (1978). *Metal-semiconductor contacts* (2nd edn.) Clarendon, Oxford.
- Sze, S.M. (1981). *Physics of Semiconductor Devices*: New York, Wiley.

ATIKTAN KATMA DEĞERLİ BİR ÜRÜNE: ATIK RTV SİLİKONUN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ İLE TEKSTİL SEKTÖRÜ İÇİN SU İTİCİ AJAN GELİŞTİRİLMESİ

Sevdenur SUSAM

Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojileri
sevdenurgedikali@gmail.com

Prof. Dr. Emrah ÇAKMAKÇI

Marmara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
emrah.cakmakci@marmara.edu.tr

Özet

Günümüzde çevre dostu ve sürdürülebilir ürünlerin önemi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, endüstriyel atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü, çevresel etkilerin azaltılması için önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Silikon kalıplar gibi endüstriyel atıkların geri dönüştürülmesi, tekstil sektöründe çeşitli yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine potansiyel sunmaktadır. Ayrıca geleneksel su geçirmezlik işlemleri genellikle çevresel olarak zararlı kimyasallar içerebilirken, geri dönüştürülmüş silikon kalıplarının kullanımıyla çevre dostu bir alternatif sunulması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, atık RTV silikon; toluen, sekonder amin, etil alkol ve baz yardımıyla reaksiyona sokularak oligomerik siloksan zincirlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen ürün NMR ve GPC ile karakterize edilmiştir. Geliştirilen ürün, pamuklu tekstil yüzeylerine uygulanmış ve yüzey özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, temas açısı ölçümleriyle yüzeyin su itici özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: RTV silikon, su itici ajan, geri dönüşüm

FROM WASTE TO A VALUE-ADDED PRODUCT: DEVELOPMENT OF WATER REPELLENT AGENT FOR THE TEXTILE INDUSTRY BY RECYCLING WASTE RTV SILICONE

Abstract

The importance of eco-friendly and sustainable products is increasingly recognized today. In this context, the recycling and reuse of industrial waste are considered significant steps in reducing environmental impact. The recycling of industrial waste such as silicone molds offers potential for the development of various innovative products in the textile sector. While traditional waterproofing processes often involve environmentally harmful chemicals, the aim here is to provide an environmentally friendly alternative through the use of recycled silicone molds.

In this study, waste RTV silicone was converted into oligomeric siloxane chains by reaction with toluene, a secondary amine, ethyl alcohol, and a base. The resulting product was characterized using NMR and GPC. It was then applied to cotton textile surfaces, and its surface properties were investigated. Additionally, the water-repellent properties of the surface were evaluated through contact angle measurements.

Keywords: RTV silicone, water-repellent agent, recycling

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre dostu ve sürdürülebilir ürünlerin geliştirilmesi, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır (Shen, Nieuwlaar, & Patel, 2020). Bu bağlamda, endüstriyel atıkların yeniden değerlendirilmesi, döngüsel ekonomi kapsamında önemli bir çözüm yolu olarak öne çıkmaktadır. Özellikle silikon bazlı atıkların, örneğin silikon kalıpların geri dönüştürülmesi; sadece atık yükünü azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda bu

malzemelere yeni işlevler kazandırılmasını mümkün kılmaktadır (Roy, Surekha, & Rajagopal, 1999; Kodama, Masui, & Kato, 2006).

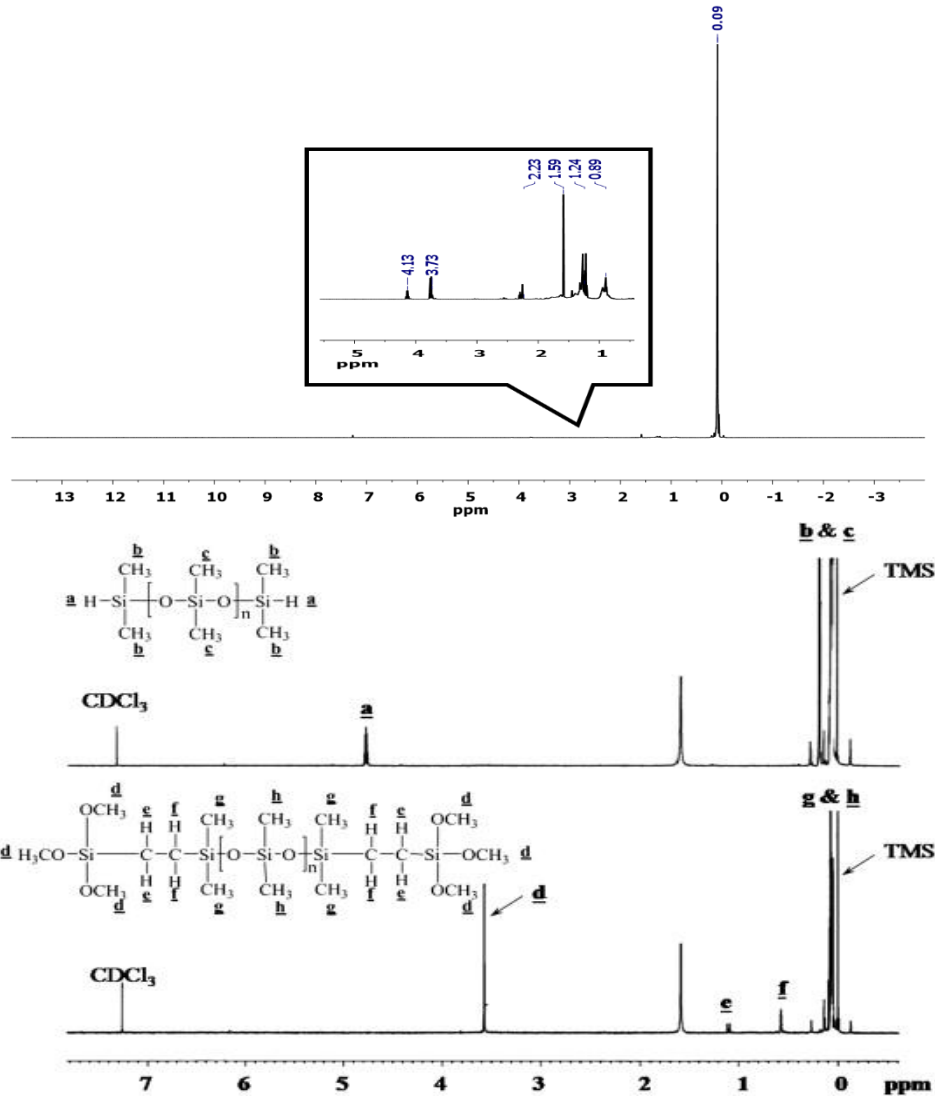
Silikon malzemeler, kimyasal olarak stabil yapıları ve düşük yüzey enerjileri sayesinde su ve leke itici uygulamalarda tercih edilmektedir (Liang, Liu, Zhang, & Zhou, 2021).

Bu çalışma, atık RTV silikon malzemelerin geri dönüştürülerek tekstil sektöründe kullanılabilecek su geçirmez ürünlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu kapsamda, RTV silikonun toluen, sekonder amin, etil alkol ve bir baz ile reaksiyona sokularak oligomerik siloksan zincirlerine dönüştürülmesi ve su itici özellikte ürünler elde edilmesi hedeflenmektedir.

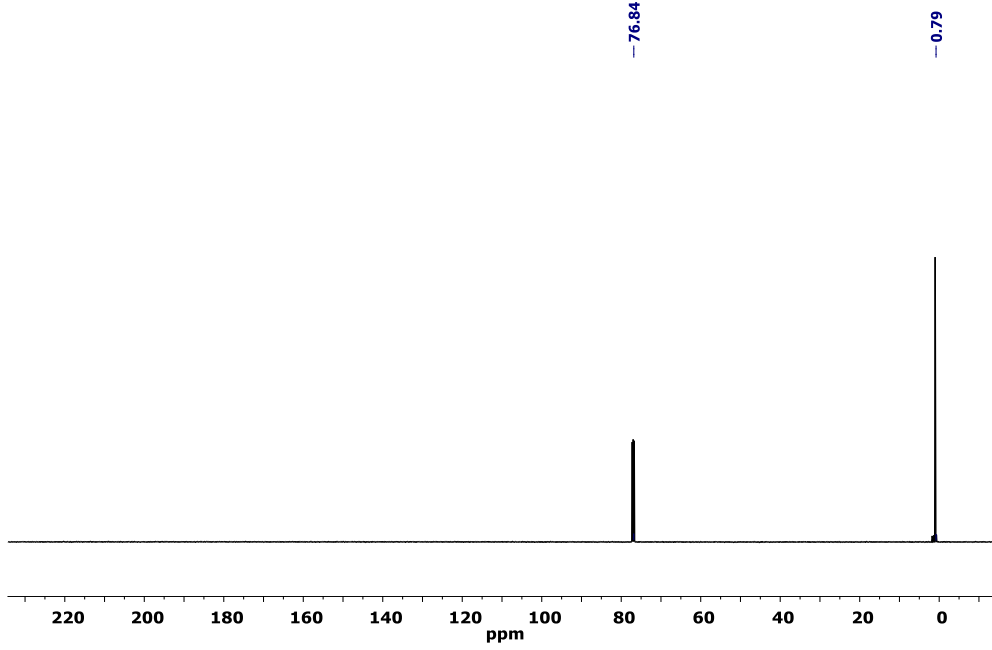
Bu çalışmanın mevcut literatüre katkısı, endüstriyel atıkların sürdürülebilir şekilde yeniden kullanımı ve geri dönüşümü alanında yeni bilgiler sunmasıdır. Ayrıca, çevre dostu su geçirmez ürünlerin geliştirilmesiyle tekstil sektöründe sürdürülebilirlik odaklı yenilikçi çözümler ortaya koyması beklenmektedir. Bu sayede, bilimsel, kültürel ve ekonomik açılardan önemli kazanımlar sağlanması amaçlanmaktadır.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

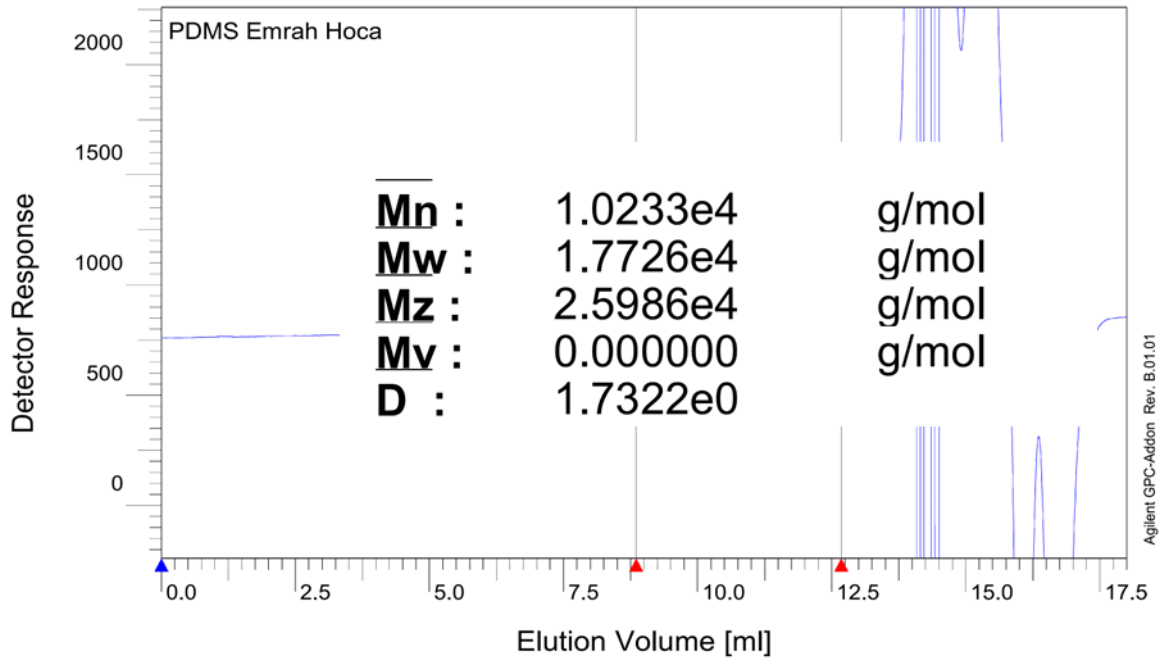
Atık RTV silikon, toluen, diizopropilamin, etanol ve baz ile reaksiyona sokularak siloksan zincirlerine dönüştürüldü. Elde edilen ürüne NMR (Şekil 1 ve Şekil 2) ve GPC (Şekil 3) analizleri yapıldı.



Şekil 1: ¹H NMR

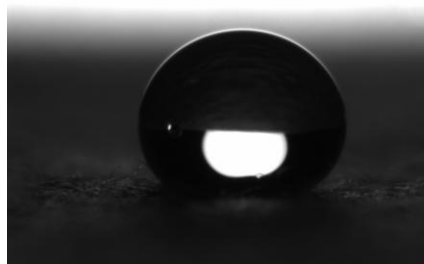


Şekil 2: C NMR



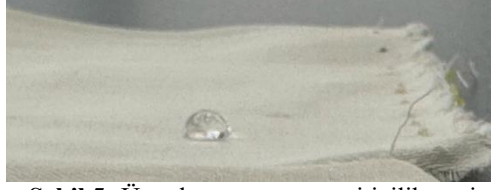
Şekil 3: GPC analizi

Ürün pamuklu kumaşa uygulandı. Su iticiliğinin başarılı olduğu gözlemlendi ve temas açısı ölçümü yapıldı. (Şekil 4)

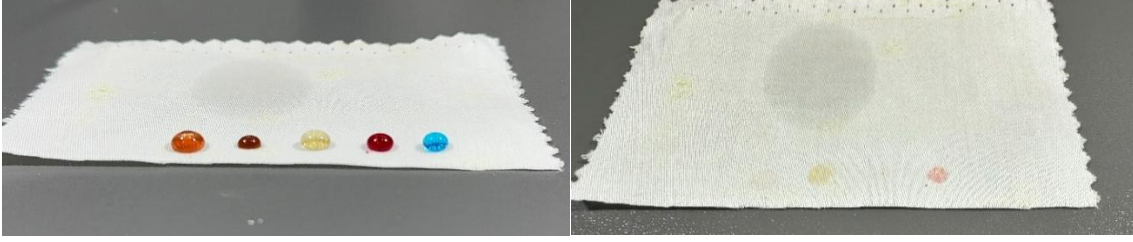


Şekil 4: Temas Açısı Ölçümü

Üç yıkama sonrasında da bu özelliğin korunduğu ve su damlalarının formunu kaybetmeden yüzeyde kaldığı gözlemlendi. (Şekil 5) Leke testinde ise damlaların yayılma eğilimlerinin düşük olduğu ve çoğu sıvının kumaş yüzeyinden kalıntı bırakmadan uzaklaştığı gözlemlendi (Şekil 6).



Şekil 5: Üç yıkama sonrası su iticilik testi



Şekil 6: Leke testi

3. SONUÇ

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş RTV silikon kullanılarak tekstil yüzeylerine uygulanabilir, su ve leke itici özellikte bir kaplama malzemesi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen ürün, farklı çapraz bağlayıcılar ve çözücülerle hazırlanarak pamuklu kumaş yüzeyine uygulanmıştır. Çalışma kapsamında, ürünün tekstil yüzeyine uygulanabilirliği, performansı ve yıkama sonrası dayanımı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, rejenere edilmiş RTV silikonun pamuklu kumaşlara su itici özellik kazandırabildiğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sunmakta; geri dönüştürülmüş silikonun yeni ve fonksiyonel alanlara kazandırılabilceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları da mevcuttur. Tüm uygulamalar laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup, yöntemin endüstriyel ölçekte de test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yağ iticilik performansı istenilen düzeye ulaşamamıştır.

Gelecek çalışmalarda, yağ iticiliğini artırmak amacıyla alternatif katkı maddeleri kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş silikon farklı kumaş türlerinde test edilerek yöntemin genel geçerliliği artırılabilir. Ayrıca, yıkama dayanımı uzun vadeli testlerle, örneğin on yıkama döngüsüyle yeniden değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın yürütülmesinde sağladığı değerli katkılar için Prof. Dr. Emrah Çakmakçı hocama teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

Roy, P. K., Surekha, P., & Rajagopal, C. (1999). Recycling and reuse of silicone polymers. *Polymer Degradation and Stability, 65*(1), 1–4.

[https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(99\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(99)00045-0)

Liang, Y., Liu, S., Zhang, Y., & Zhou, Z. (2021). Superhydrophobic textile materials: Recent progress and challenges. *Journal of Industrial Textiles, 50*(9), 1369–1396.

<https://doi.org/10.1177/1528083720939420>

Shen, L., Nieuwlaar, E., & Patel, M. (2020). Life cycle assessment of man-made cellulose fibers. *Resources, Conservation and Recycling, 55*(2), 260–274.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.001>

PHASE TRANSFORMATION OF B-DOPED $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ SOLID ELECTROLYTE IN POLYETHYLENE OXIDE SOLID ELECTROLYTE

Assist. Prof. Dr. SEVDA SARAN

Selçuk University, Science Faculty, Physics Department
sevdaaktas@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2647-0700

Abstract

Garnet-type $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ -based composite solid-state electrolytes for solid-state batteries offer good ionic conductivity and flexibility with the combination of advantages of $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO) and polyethylene oxide (PEO) solid electrolytes. However, the ionic conductivity of composite solid electrolytes is not enough for practical applications. In this work, Boron-doped LLZO solid electrolyte was incorporated into the PEO solid electrolyte to enhance the ionic conductivity of the composite solid electrolyte. The crystal structure and Li^+ ion conductivity of the synthesized flexible composite electrolytes were examined by X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS), respectively. Findings indicate that the tetragonal B-LLZO transformed into the highly conductive cubic phase with the incorporation into the PEO solid electrolyte at room temperature. Among the prepared composite solid electrolytes, 1% B-doped LLZO incorporated sample shows the best ionic conductivity of $2.49 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ at room temperature.

Keywords: Flexible solid electrolytes, PEO-based solid-state electrolytes, LLZO, crystal phase transformation

1. INTRODUCTION

Li-ion batteries (LIBs) are the most important devices for storing and delivering energy for electronic appliances. Since the first commercialization of rechargeable LIBs in 1990, researchers have focused on increasing the energy density of these batteries (Wang et al. 2025). Although for the systems that need large-scale batteries for high energy, safety issues become even more significant. LIBs include flammable liquid electrolytes, which can lead to a series of safety problems, such as explosions and fires (Hayashi et al., 2003; Kamaya et al., 2011; Choi et al., 2015). Replacing the liquid organic electrolytes with solid-state electrolytes eliminates the safety issues. Despite promising higher safety, solid-state batteries also promise high energy densities (Shen et al., 2018; Wang et al. 2019).

Solid-state electrolytes can be divided into two types as inorganic solid-state electrolytes and polymer solid-state electrolytes (Wang et al. 2025, Choi et al., 2015). Inorganic solid-state electrolytes exhibit a brittle feature, making it challenging to overcome the high interfacial resistance with electrodes (Wang et al. 2019). On the other hand, polyethylene oxide (PEO) based solid-state electrolytes have good mechanical flexibility and good contact with the electrodes. PEO-based solid electrolytes can offer a lithium-ion conductivity up to 10^{-4} - $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ at 60°C . However, they have low ionic conductivity at room temperature. In the literature, organic fillers such as SiO_2 , Al_2O_3 , cubic phase of element-doped garnet-type $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO) are incorporated into the PEO matrix to enhance the ionic conductivity (Scrosati et al., 2000; Appetecchi et al., 2000; Kim et al., 2022).

In this study, we obtained a conductivity of $2.49 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ at room temperature with the incorporation of the tetragonal 1% Boron-doped LLZO into the PEO matrix.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Synthesis of flexible solid-state electrolyte

Li_2CO_3 , La_2O_3 , ZrO_2 , and B_2O_3 (99.9 % purity) compounds were mixed in the desired stoichiometric ratios, and a sequence of ball mill and heat treatments was applied to this mixture to synthesize the boron-doped $\text{Li}_{7-3x}\text{B}_x\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (B-LLZO) ($x = 0.01, 0.03, 0.2$) solid electrolytes.

The mixture was ball milled in isopropanol (IPA) at 400 rpm for 5 hours with a Retsch PM100 ball grinder. Then, the mixture was dried in an oven for 12 h and heat treatment was applied at 900 °C for 8 h. Secondly, the ball mill process was done again at 350 rpm. Finally, powders were pressed as pellets with a diameter of 12 mm and sintered at 1200 °C for 10 minutes. After sintering, the pellets were crushed and ground with a mortar to obtain fine powders.

To prepare the flexible composite solid electrolyte, the EO/Li mole ratio was maintained at 18:1. The amount of B-LLZO in the composite electrolyte was 10 wt%. PEO and bis(trifluoromethane)sulfonimide lithium salt (LiTFSI) or lithium perchlorate (LiClO₄) were dissolved in acetonitrile (ACN). After the complete dissolution, B-LLZO powders were added and stirred for 24 hours to get a homogeneous solution. The resulting slurry was cast onto a Teflon plate and then kept in a vacuum oven at 60 °C for 12 hours to remove the solvent.

2.2. Characterization of PEO-based flexible solid electrolyte

The crystal structures of synthesized B-LLZO powders and composite solid electrolytes were investigated with the powder X-ray diffraction (XRD) measurements taken at 2θ of 10-70°. To study the ionic conductivity of the resultant composite solid electrolytes, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements were taken from 10⁻¹ Hz to 10⁶ Hz with an AC signal of 10 mV. To understand the phase transformation of the B-LLZO structure, Raman spectrum of the PEO + LiTFSI, 3% B-doped LLZO powder, and PEO + LiTFSI / %3-Li_{6.91}B_{0.03}La₃Zr₂O₁₂ were recorded at room temperature.

In Fig. 1, when the XRD patterns of the synthesized B-LLZO solid electrolyte are analyzed, it is seen that all the samples formed in a tetragonal phase.

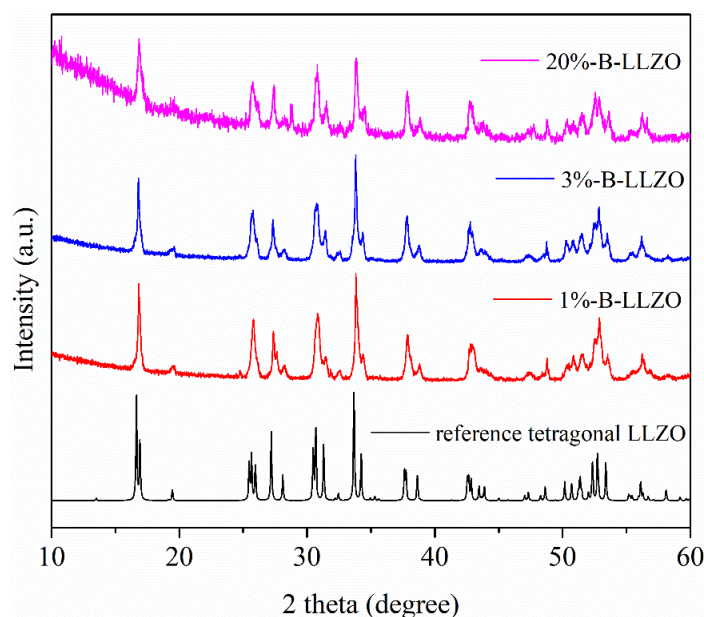


Figure 1: XRD patterns of the theoretical tetragonal LLZO, and synthesized 1%-B-LLZO, 3%-B-LLZO, and 20%-B-LLZO powders

In Fig. 2, XRD patterns of theoretical and cubic LLZO, 1%-B-LLZO, PEO + LiTFSI, and PEO + LiTFSI / 1%-B-LLZO composite solid electrolyte is shown. When investigating the crystal structure of the 1%-B-LLZO powder before and after incorporation into the PEO solid electrolyte, a phase transformation from tetragonal to cubic phase is seen. This transformation can be understood from most of the peaks in the tetragonal phase disappearing when it transforms to the cubic phase. On the other hand, the expected impact of B-LLZO incorporation into the PEO can easily be seen from XRD patterns since the addition

of B-LLZO to PEO reduces the intensity of the two characteristic sharp peaks of PEO (19.4°, 23.6°) which indicates B-LLZO helps decrease the crystal degree of PEO (Ge et al., 2022).

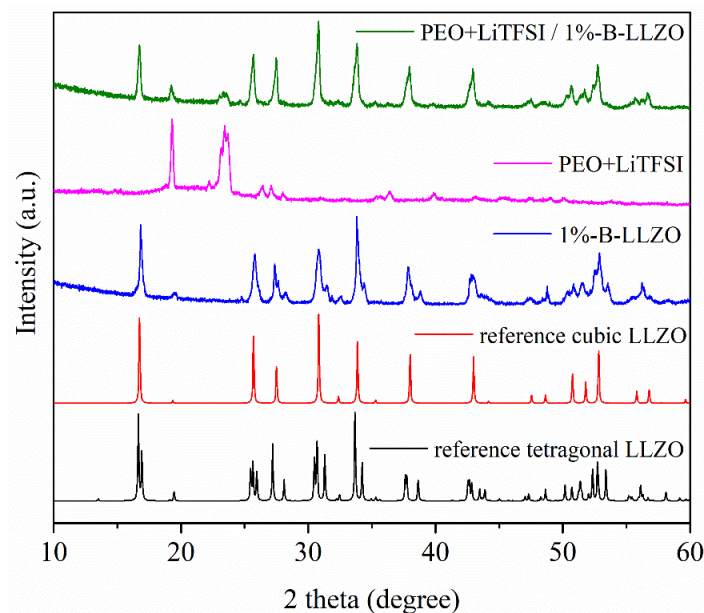


Figure 2: Comparison of XRD patterns of the theoretical tetragonal and cubic LLZO, 1%-B-LLZO, PEO + LiTFSI, and PEO + LiTFSI / 1%-B-LLZO composite solid electrolyte

Since we have observed the tetragonal to cubic phase transformation for the 1%-B-LLZO in the PEO solid electrolyte, to understand the origin of the transformation, we prepared PEO composite solid electrolytes by the incorporation of 3%-B-LLZO and 20%-B-LLZO. According to the XRD patterns shown in Figs. 3 and 4, while the tetragonal to cubic phase transformation is observed for the PEO + LiTFSI / 3%-B-LLZO composite solid electrolyte, it is not observed when the doping amount of B is 20%, which is relatively a high amount.

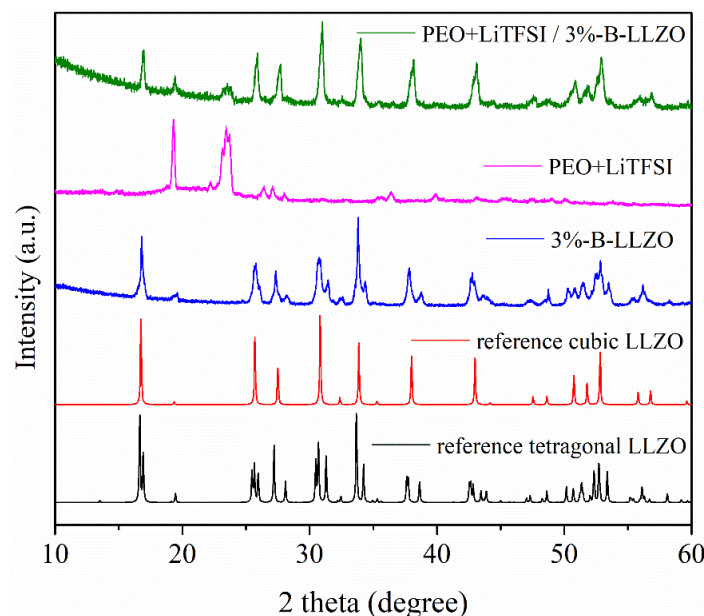


Figure 3: Comparison of XRD patterns of the theoretical tetragonal and cubic LLZO, 3%-B-LLZO, PEO + LiTFSI, and PEO + LiTFSI / 3%-B-LLZO composite solid electrolyte

In Fig 4., it is seen that the 3 peaks between 50°-55° are broader compared to the others, and the peaks around 31.2°, 34.1°, and 38.4° are not disappearing, which means 20%-B-LLZO is still in the tetragonal phase. On the other hand, it is worth mentioning that when the substitution reaches the 20 % limit, an additional peak at 28.8° contributes to the XRD pattern, which is attributed to the $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ impurity phase in literature (Aktaş et al., 2019).

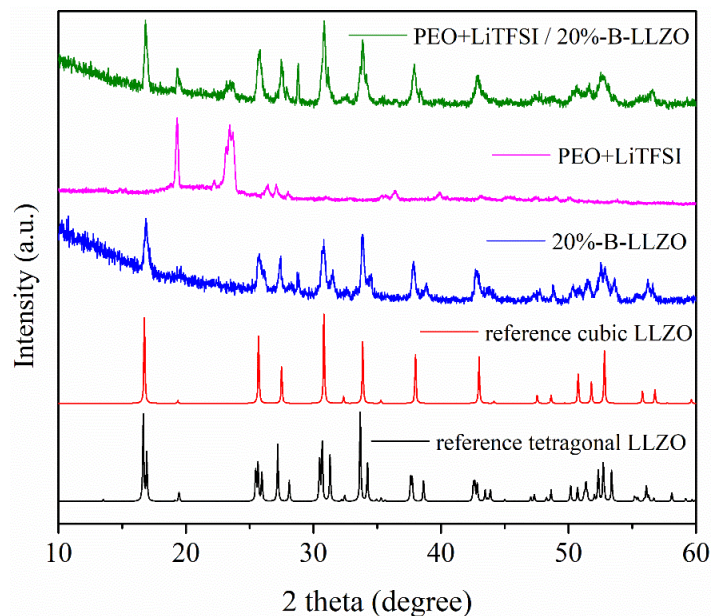


Figure 4: Comparison of XRD patterns of the theoretical tetragonal and cubic LLZO, 20%-B-LLZO, PEO + LiTFSI, and PEO + LiTFSI / 20%-B-LLZO composite solid electrolyte

To understand the effect of a different lithium salt on the tetragonal to cubic phase transformation, LiClO_4 lithium salt was replaced with LiTFSI lithium salt. In Fig. 5, XRD results of the samples prepared with PEO, LiClO_4 and 3%B-LLZO show that lithium salt has no influence on the tetragonal to cubic transformation, since 3%B-LLZO transforms from tetragonal to cubic phase in PEO + LiClO_4 flexible solid electrolyte, too.

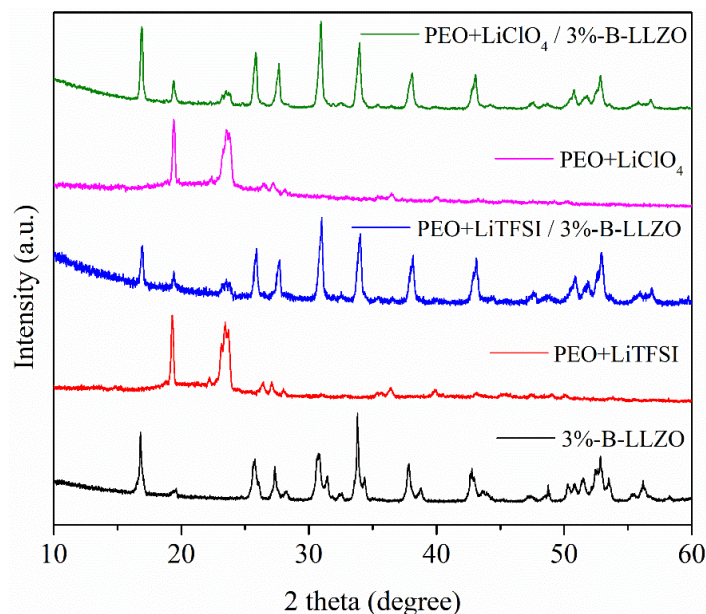


Figure 5: Comparison of XRD patterns of the 3%-B-LLZO, PEO + LiTFSI, PEO + LiTFSI / 3%-B-LLZO, PEO + LiClO₄, and PEO + LiClO₄ / 3%-B-LLZO

Raman analysis was done to further search the crystal structure transformation. On Raman spectroscopy, the main difference between tetragonal and cubic LLZO can be observed between 200-500 cm⁻¹. Between this range, the vibration modes of the tetragonal phase split since the cubic phase has a higher symmetry. From Fig. 6, we can assess that the peaks, especially in the range of 200-300 cm⁻¹, are reunited, which indicates the symmetry of the structure changes from tetragonal to cubic (Tietz et al., 2013; Dhivya et al., 2014).

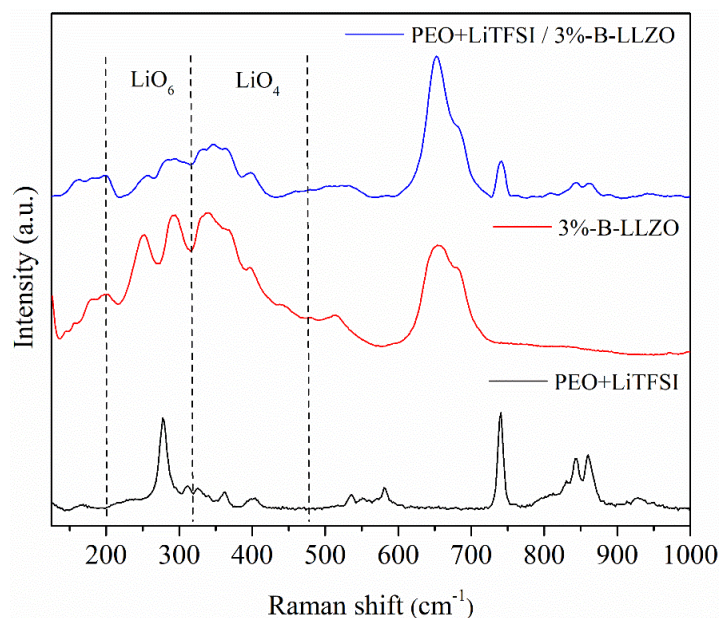


Figure 6: Raman spectra of the PEO+LiTFSI, 3%B-LLZO powder, PEO+LiTFSI / 3%B-LLZO composite solid electrolyte

In Fig. 7, the Nyquist plots of the composite solid electrolytes prepared with different lithium salts and B-LLZO powders are shown.

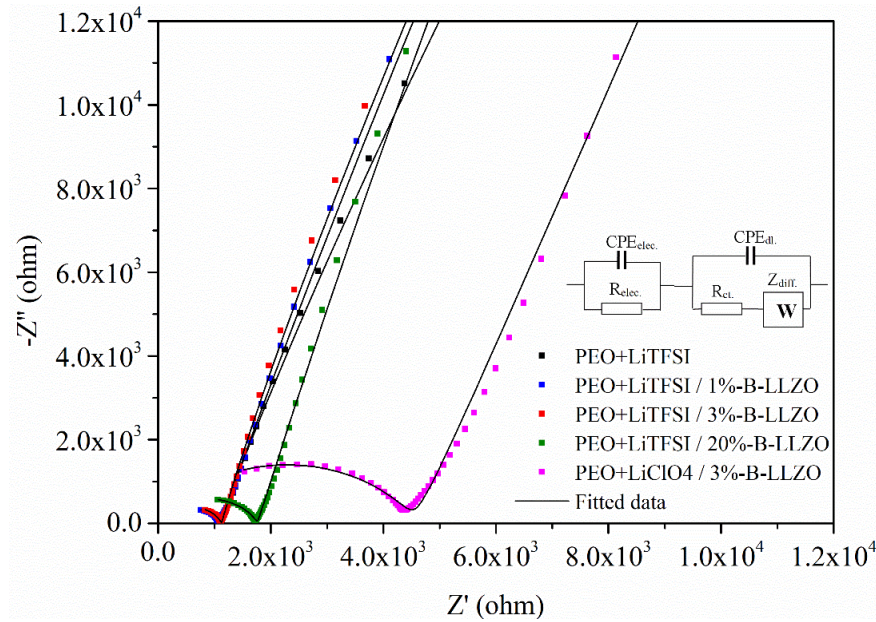


Figure 7: EIS data and the equivalent circuits used for fitting

The equivalent circuit consists of resistance (R), a constant phase element (CPE), and a Warburg element (W). Gamry Echem Analyst software was used for fitting and the results are given in Table 1.

Equation (1) is used to calculate the conductivities of the flexible composite solid electrolytes, which are given in Table 1.

$$\sigma = l/RA \quad (1)$$

Here, l is the thickness, R is the resistance, and A is the area of the samples. According to the results, PEO + LiTFSI / 1%-B- $\text{Li}_{6.97}\text{B}_{0.01}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ composite solid electrolyte shows the highest ionic conductivity, $2.49 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$.

Table 1: Fitted resistivity and calculated conductivity values of the flexible solid electrolytes

Flexible solid electrolyte	$R_{\text{elect.}} (\Omega)$	$\sigma (\text{S cm}^{-1})$
PEO + LiTFSI	1.11×10^3	2.46×10^{-5}
PEO + LiTFSI / 1%-B- $\text{Li}_{6.97}\text{B}_{0.01}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	1.10×10^3	2.49×10^{-5}
PEO + LiTFSI / 3%-B- $\text{Li}_{6.91}\text{B}_{0.03}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	1.13×10^3	2.42×10^{-5}
PEO + LiTFSI / 20%-B- $\text{Li}_{6.4}\text{B}_{0.2}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	1.37×10^3	2.00×10^{-5}
PEO + LiClO_4 / 3%-B- $\text{Li}_{6.91}\text{B}_{0.03}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	4.55×10^3	6.01×10^{-6}

3. CONCLUSION

Tetragonal to high-conductive cubic phase transformation of B-doped LLZO is investigated upon incorporation into the PEO solid electrolyte. When the B substitution is high, 20%, the phase transformation is not observed. On the other hand, XRD analysis shows that when the B doping amount is low enough, phase transformation takes place with the use of different lithium salts, too. Since all composite electrolyte preparation conditions are the same, we can say that lithium salts do not affect phase transformation. In addition, Raman analysis supports the evidence of the tetragonal to cubic phase transformation when the tetragonal B-LLZO is incorporated into the PEO solid electrolyte. Since the main difference between a tetragonal and cubic phase of LLZO is the Li^+ distribution in the crystal lattice, most probably incorporation of tetragonal LLZO into the PEO solid electrolyte creates an effect to change the distribution of Li^+ in the crystal framework. Moreover, EIS results point to LiTFSI salt leading to a higher ionic conductivity compared to LiClO_4 salt. PEO + LiTFSI / 1%-B- $\text{Li}_{6.97}\text{B}_{0.01}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ composite electrolyte acquires the highest ionic conductivity at room temperature, $2.49 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$.

REFERENCES

- Aktaş, S., Özkendir, O. M., Eker, Y. R., Ateş, Ş., Atav, Ü., Çelik, G., & Klysubun, W. (2019). Study of the local structure and electrical properties of gallium-substituted LLZO electrolyte materials. *Journal of Alloys and Compounds*, 792, 279-285.
- Appetecchi, G. B., & Passerini, S. (2000). PEO-carbon composite lithium polymer electrolyte. *Electrochimica Acta*, 45(13), 2139-2145.
- Choi, J. H., Lee, C. H., Yu, J. H., Doh, C. H., & Lee, S. M. (2015). Enhancement of ionic conductivity of composite membranes for all-solid-state lithium rechargeable batteries incorporating tetragonal $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ into a polyethylene oxide matrix. *Journal of Power Sources*, 274, 458-463.
- Dhivya, L. and R. Murugan, Effect of Simultaneous Substitution of Y and Ta on the Stabilization of Cubic Phase, Microstructure, and Li^+ Conductivity of $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ Lithium Garnet. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2014. 6(20): p. 17606-17615.
- Ge, M., Zhou, X., Qin, Y., Liu, Y., Zhou, J., Wang, X., & Guo, B. (2022). A composite PEO electrolyte with amide-based polymer matrix for suppressing lithium dendrite growth in all-solid-state lithium battery. *Chinese Chemical Letters*, 33 (8), 3894-3898.
- Hayashi, A., Hama, S., Minami, T., & Tatsumisago, M. (2003). Formation of superionic crystals from mechanically milled Li_2S - P_2S_5 glasses. *Electrochemistry Communications*, 5(2), 111-114.
- Kamaya, N., Homma, K., Yamakawa, Y., Hirayama, M., Kanno, R., Yonemura, M., ... & Mitsui, A. (2011). A lithium superionic conductor. *Nature materials*, 10(9), 682-686.
- Kim, H. K., Barai, P., Chavan, K., & Srinivasan, V. (2022). Transport and mechanical behavior in PEO-LLZO composite electrolytes. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 26(9), 2059-2075.
- Scrosati, B., Croce, F., & Persi, L. (2000). Impedance spectroscopy study of PEO-based nanocomposite polymer electrolytes. *Journal of the Electrochemical Society*, 147(5), 1718.
- Shen, Y., Zhang, Y., Han, S., Wang, J., Peng, Z., & Chen, L. (2018). Unlocking the energy capabilities of lithium metal electrode with solid-state electrolytes. *Joule*, 2(9), 1674-1689.
- X.-Q. Zhang, X.-B. Cheng and Q. Zhang, *Adv. Mater. Interfaces*, 2018, 5, 1701097.
- Tietz, F., et al., Synthesis and Raman micro-spectroscopy investigation of $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$. *Solid State Ionics*, 2013. 230: p. 77-82.
- Wang, S., La Monaca, A., & Demopoulos, G. P. (2025). Composite solid-state electrolytes for all solid-state lithium batteries: progress, challenges and outlook. *Energy Advances*.
- Wang, X., Zhai, H., Qie, B., Cheng, Q., Li, A., Borovilas, J., ... & Yang, Y. (2019). Rechargeable solid-state lithium metal batteries with vertically aligned ceramic nanoparticle/polymer composite electrolyte. *Nano Energy*, 60, 205-212.

TRANSFORMER VE CNN TABANLI MODELLER İLE DİYABETİK RETİNOPATİ TESPİTİ VE DERECELENDİRİLMESİ

Esmâ Fazilet Karagülle

Atatürk Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği

esmafazilet.karagulle17@ogr.atauni.edu.tr, ORCID: 0009-0002-7225-9970

Dr. Öğr. Üyesi Esra Odabaş Yıldırım

Atatürk Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği

esra.odabas@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0936-1342

Özet

Diyabetin neden olduğu görme rahatsızlıklarından biri olan Diyabetik Retinopati (DR), ilerleyen evrelerde görme kaybına neden olabilmektedir. Bu çalışmada DR'nin otomatik tespitine yönelik derin öğrenme tabanlı yöntemlerin performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. APTOS 2019 veri seti kullanılarak hem ikili sınıflandırma hem de çoklu sınıflandırma görevleri gerçekleştirilmiştir. Model eğitiminde geleneksel Evrişimli Sinir Ağı (CNN) mimarileri ile Transformer (Dönüşüm) tabanlı yeni nesil modeller değerlendirilmiştir. Veri dengesizliğinin önüne geçmek amacıyla k-katlı çapraz doğrulama stratejisi uygulanmıştır. Performans değerlendirmesi için doğruluk, F1-Skor ve Kappa gibi metrikler kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, Swin Transformer mimarisi geleneksel CNN mimarilerine kıyasla daha üstün performans göstermiştir. Ancak ViT-Base modeli bazı senaryolarda CNN tabanlı yapılarla benzer hatta daha düşük başarı elde etmiştir. Elde edilen bulgular Transformer tabanlı yaklaşımların DR teşhisinde güçlü alternatifler sunduğunu ancak her durumda CNN'lerin yerini alacak düzeyde olmadığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Diyabetik Retinopati, Transformer Mimarileri

DETECTION AND GRADING OF DIABETIC RETINOPATHY WITH TRANSFORMER AND CNN-BASED MODELS

Abstract

Diabetic Retinopathy (DR), one of the visual disorders caused by diabetes, can cause vision loss in advanced stages. In this study, the performance of deep learning-based methods for automatic detection of DR was comparatively investigated. Both binary classification and multiple classification tasks were performed using the APTOS 2019 dataset. Traditional Convolutional Neural Network (CNN) architectures and Transformer-based new generation models were evaluated in model training. In order to prevent data imbalance, a k-fold cross-validation strategy was applied. Metrics such as accuracy, F1-Score and Kappa were used for performance evaluation. According to the experimental results, the Swin Transformer architecture showed superior performance compared to traditional CNN architectures. However, the ViT-Base model achieved similar or even lower success with CNN-based structures in some scenarios. The findings show that Transformer-based approaches offer strong alternatives in DR diagnosis, but they are not at a level to replace CNNs in all cases.

Keywords: Deep Learning, Diabetic Retinopathy, Transformer Architectures

1. GİRİŞ

DR, diyabetin bir komplikasyonu olarak meydana gelen ve tedavi edilmediğinde kalıcı görme kaybına yol açabilen ciddi bir göz hastalığıdır. 2020 yılı itibarıyla dünya genelinde yaklaşık 103 milyon yetişkinin DR'den etkilendiği tahmin edilmekte ve bu sayının 2045 yılına kadar 160 milyona ulaşması beklenmektedir (Teo vd., 2021). DR, özellikle asemptomatik seyretmesi (yani hasta görme kaybı ya da bulanıklık gibi belirtileri fark edene kadar hastalığın ilerlemesi) nedeniyle erken evrelerde fark edilmemektedir ve bu durum tedavi sürecini geciktirmektedir (Dai vd., 2024). Erken tanı hastalığın ilerlemesini önlemek açısından büyük önem taşımaktadır (Khan vd., 2023). Geleneksel tanı yöntemleri uzman hekimlerin yorumuna dayandığından zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle son yıllarda, retina

görüntülerinden DR'nin otomatik olarak tespitine yönelik derin öğrenme tabanlı yöntemler önemli gelişmeler göstermiştir (Wu vd., 2023).

CNN'ler, retina görüntülerinde hem mikroanevrizma ve hemorajiler gibi küçük lezyonları hem de makro yapısal bozulmaları yakalayabilme kapasiteleri sayesinde DR taramasında uzun süredir otomatik yaklaşımlar arasında yer almaktadır. ResNet-50/152, EfficientNet-B0, DenseNet-169 ve MobileNetV2 gibi mimariler; EyePACS ve Messidor gibi büyük veri kümelerinde yaklaşık %84–91 doğruluk ve %80'in üzerinde Kappa skorları bildirerek klinik kullanıma yakın performans sergilemiştir (Odie vd., 2024; Anand vd., 2024). Bununla birlikte CNN mimarilerinin sınırlı yerel alıcı alanları (local receptive field) uzun mesafeli piksel ilişkilerini doğrudan modelleyemediğinden retinanın farklı bölgeleri arasındaki küresel bağlamı yakalamada dezavantaj oluşturmaktadır.

Bu eksikliği gidermek üzere geliştirilen Transformer tabanlı görsel modeller, özellikle Vision Transformer (ViT) ve Swin Transformer, son yıllarda medikal görüntü analizinde hızla yaygınlaşmıştır (Zhao vd., 2023). ViT, küresel dikkat (global attention) mekanizması sayesinde tüm görüntü boyunca uzun mesafeli ilişkileri öğrenebilirken Swin Transformer'ın kaydırılmış çok-ölçekli pencere yapısı hem yerel ayrıntıları hem de küresel düzeni hiyerarşik olarak bütünleştirerek küçük lezyon odaklarını ve genel retina morfolojisini daha etkili analiz edebilmektedir (Cao vd., 2024; Boulaabi vd., 2025).

Literatürde yapılan analizlerde Transformer tabanlı modellerin, özellikle Swin Transformer'ın, klasik CNN mimarilerine kıyasla daha yüksek doğruluk, F1 skoru ve Kappa değeri elde ettiği gösterilmiştir (Kumar & Karthikeyan, 2021). Bununla birlikte ViT gibi modellerin küçük veri setlerinde aşırı öğrenmeye (overfitting) yatkın olduğu bu nedenle büyük ölçekli ön eğitim (pretraining) ya da öz-denetimli öğrenme (self-supervised learning) stratejilerine ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir (Yang vd., 2024; Mohan vd., 2022fo).

Bu çalışmada, DR tespiti ve derecelendirilmesi amacıyla kullanılan CNN ve Transformer mimarilerinin literatürdeki başarıları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Özellikle doğruluk, F1 skoru ve QWK gibi metrikler üzerinden yapılan değerlendirmeler, farklı mimarilerin retina görüntülerindeki etkinliğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

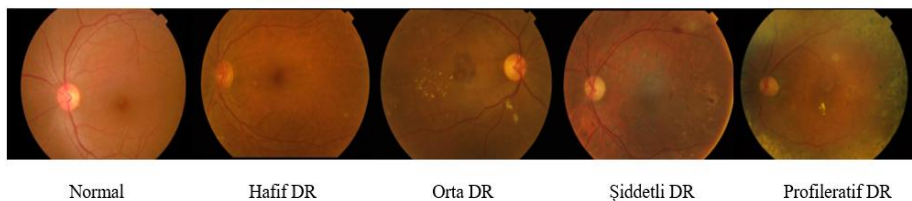
2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu bölümde çalışmada kullanılan veri seti, görüntü işleme adımları, sınıflandırma stratejileri, derin öğrenme mimarileri, model eğitim protokolü ve performans değerlendirme yöntemleri ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada DR'nin tespiti ve derecelendirilmesi için APTOS 2019 veri seti kullanılmaktadır. Bu veri seti, "APTOS 2019: Diabetic Retinopathy Detection" adlı Kaggle yarışmasında kullanılmak üzere bir kısmı açık erişimli olarak yayınlanmıştır (Kaggle, 2019). Veri seti retina görüntülerini içermektedir ve bu görüntüler hastaların göz retinasındaki damarlar, lezyonlar ve diğer hasarları tespit etmek için kullanılabilir. APTOS 2019 veri setinde her bir görüntü için bir etiket bulunur ve bu etiket, retinopatinin çeşitli derecelerine işaret eder (0'dan 4'e kadar, 0: sağlıklı, 1: hafif, 2: orta, 3: ileri, 4: çok ileri). Bu etiketler modelin DR'yi farklı seviyelerde sınıflandırmasını sağlar.

APTOS 2019 veri seti, 3662 retina görüntüsü içermektedir. Tablo 1'de veri setindeki örneklerin dağılımı gösterilmiştir. Şekil 1'de veri setindeki farklı derecelere sahip görüntü örnekleri verilmiştir.



Şekil 1: APTOS 2019 Veri setinden örnek görüntüler.

Tablo 1’de veri setindeki örneklerin dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 1: APTOS 2019 veri dağılımı.

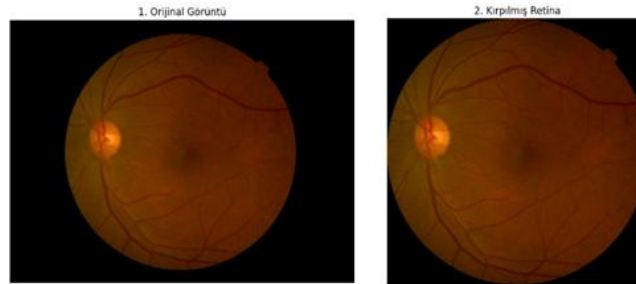
Hastalık Derecesi	Örnek Sayısı
Sağlıklı	1805
Hafif DR	370
Orta DR	999
Şiddetli DR	193
Proliferatif DR	295

2.2. Görüntü Ön İşleme ve Hazırlık

Modelin sınıflandırma başarısını artırmak, gürültülü veya düşük kaliteli görüntülerden kaynaklı hataları azaltmak amacıyla çeşitli ön işleme ve veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Bu işlemler modelin daha sağlıklı öğrenme yapabilmesi ve genelleme kabiliyetinin artırılması açısından kritik rol oynamaktadır. Görüntü işleme süreci aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

2.2.1. Kırpma (Crop Retina)

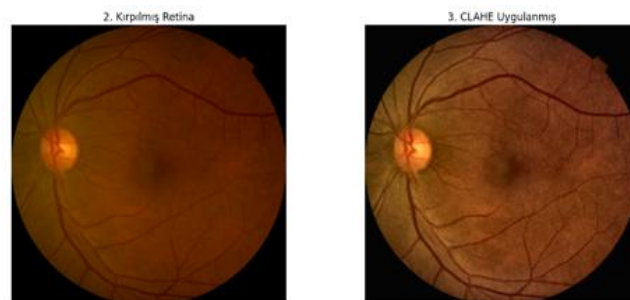
Retina görüntülerinde yalnızca retina bölgesine odaklanılabilmesi için görüntüler gri tonlamaya dönüştürülmüş ve eşikleme (thresholding) işlemi uygulanarak en dış kontur belirlenmiştir. En büyük konturun bulunduğu alan dikkörtgensel olarak kırpılmış ve böylece modelin sınıflandırma açısından ilgisiz olan siyah kenar veya boş alanlara odaklanması engellenmiştir. Şekil 2’de orijinal fundus görüntüsüne kırpma işlemi uygulandıktan sonra oluşan yeni retina görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2: Kırpma işlemi uygulanmış görüntü.

2.2.2. CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)

Görüntü kontrastını artırmak ve retinal damar yapıları ile lezyonları daha belirgin hâle getirmek için görüntülere CLAHE yöntemi uygulanmıştır. Görüntü öncelikle LAB renk uzayına dönüştürülmüş ardından L (Lightness-aydınlık) kanalı üzerinde CLAHE filtrelemesi uygulanmıştır. Son olarak renk uzayı yeniden RGB’ye çevrilmiştir. Bu işlem özellikle düşük aydınlatmalı görüntülerde kritik yapısal detayların korunmasına katkı sağlamıştır. Şekil 3’te CLAHE uygulanan görüntü verilmiştir.



Şekil 3: CLAHE uygulanmış görüntü.

2.2.3. Normalize Etme

Modelin daha hızlı ve kararlı bir şekilde öğrenmesini sağlamak amacı ile tüm görüntülerin piksel değerleri 0 ile 1 aralığına normalize edilmiştir. Bu işlem RGB renk uzayındaki her bir kanal (kırmızı, yeşil, mavi) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Piksel değerlerinin normalize edilmesine ek olarak her bir kanal için önceden belirlenmiş ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak standartlaştırma uygulanmıştır. Bu sayede model görüntü parlaklığındaki değişimlerden minimum düzeyde etkilenmiş ve daha tutarlı bir şekilde öğrenebilmiştir.

2.2.4. Boyutlandırma (Resize)

Farklı boyutlardaki fundus görüntülerinin model giriş boyutlarına uygun hale getirilmesi için tüm görüntüler 224×224 piksel boyutuna ölçeklendirilmiştir. Bu işlem derin öğrenme modellerinin yapısal gerekliliklerine uyum sağlarken tüm verilerin boyutsal olarak tutarlı olmasına olanak tanımıştır.

2.2.5. Veri Artırma (Augmentation)

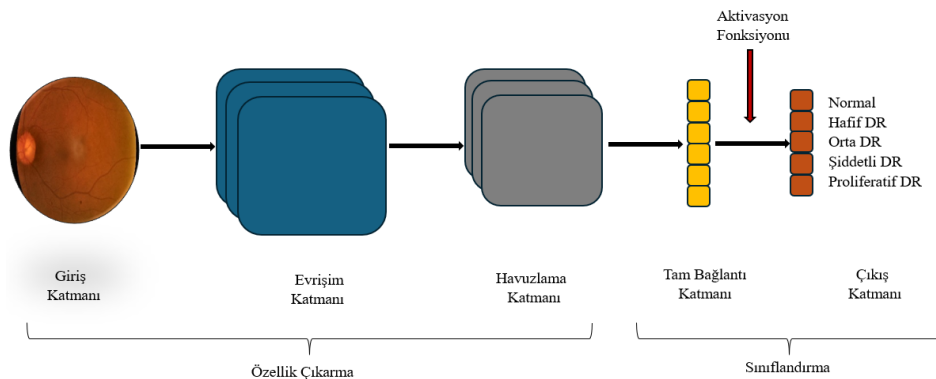
Modelin aşırı öğrenmeden kaçınması ve daha iyi genelleme yapabilmesi için eğitim verilerine çeşitli rastgele dönüşümler uygulanmıştır. Bu dönüşümler albumentations kütüphanesi aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve geometrik dönüşümleri içermektedir. Artırma işlemleri yalnızca eğitim verilerine uygulanmış doğrulama verileri üzerinde herhangi bir dönüşüm yapılmamıştır. Böylece model sınırlı veri ile farklı varyasyonları öğrenebilmiş ve daha sağlam karar mekanizmaları geliştirebilmiştir.

2.3. Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri

Bu çalışmada DR tespiti ve derecelendirilmesi için hem geleneksel CNN mimarileri hem de Transformer tabanlı modern yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Modeller hem ikili hem de çoklu sınıflandırma görevlerinde test edilmiştir. Tüm mimariler, ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş ağırlıklarla başlatılmış ve son sınıflandırma katmanları hedef göreve uygun olarak 2 veya 5 nöronlu tam bağlantılı (fully connected) çıkış katmanları ile güncellenmiştir.

2.3.1 CNN Tabanlı Modeller

CNN mimarileri yerel uzamsal örüntüleri öğrenme konusundaki başarısıyla medikal görüntü analizinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 4: CNN mimarisi.

Şekil 4'te gösterilen yapı CNN'lerin genel mimari düzenini temsil etmektedir. Bu mimaride giriş katmanına verilen görüntü, sırasıyla evrişim (convolution) ve havuzlama (pooling) işlemlerinden geçirilerek düşük boyutlu ve anlamlı öznitelikler çıkarılır. Ardından bu öznitelikler tam bağlantılı katmanlar aracılığıyla sınıflandırma katmanına iletilir. Modelin sonunda yer alan aktivasyon fonksiyonu ile DR gibi çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde farklı hastalık düzeylerine ilişkin etiketler tahmin

edilir. CNN'ler yerel uzamsal örüntüleri (kenar, doku, biçim) çok katmanlı filtrelerle otomatik olarak öğrenebilme yetenekleri sayesinde medikal görüntü analizinde en sık tercih edilen derin öğrenme mimarileridir (LeCun vd., 2015; Litjens vd., 2017). Bu çalışma kapsamında da retina görüntülerinden DR'ye özgü mikrovasküler lezyonları ve yapısal bozulmaları çıkarmak üzere ResNet, EfficientNet, VGG, DenseNet ve MobileNet gibi farklı CNN mimarileri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan CNN tabanlı modeller:

2.3.1.1. ResNet-18

ResNet-18, He ve arkadaşlarının artık bağlantılar (residual connections) konseptiyle önerdiği ResNet (Residual Network- Artık Ağ) mimarisinin hafif varyantlarından biridir (He vd., 2016). Derin ağlarda katman sayısı arttıkça gözlenen gradyan kaybolması (vanishing gradient) problemi her birkaç katmanda bir giriş tensörünün çıktıya doğrusal olarak eklenmesiyle büyük ölçüde azaltılmıştır. Böylelikle ağ derinleştikçe bile etkin biçimde geriye doğru öğrenmeyi sürdürür. Toplam 18 katmana sahip olan ResNet-18, düşük parametre sayısı, eğitim kolaylığı ve rekabetçi doğruluk oranları nedeniyle DR gibi medikal görüntü sınıflandırma çalışmalarında sıkça tercih edilmektedir.

2.3.1.2. EfficientNet-B0

EfficientNet serisi, model derinliği–genişliği–çözünürlüğü eksenlerini birlikte ölçekleyen ölçekleme dengesi (compound scaling) ilkesiyle parametre verimliliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlar (Tan & Le, 2019). Serinin çekirdeğini oluşturan EfficientNet-B0, Sinirsel Mimari Arama (Neural Architecture Search -NAS) yöntemiyle otomatik tasarlanmıştır. NAS, derin öğrenme modellerinde en iyi mimariyi (katman sayısı, filtre boyutu, bağlantı tipi gibi) otomatik olarak arayan ve optimize eden bir algoritmadır. Bu yapı, çok daha az parametre ile yüksek doğruluk elde etmeyi mümkün kılar. Sınırlı donanım kaynaklarına (örneğin taşınabilir diyabet tarama cihazları) uygun olması bu modelin retina görüntülerinde öznetelik çıkarımı için seçilmesinin temel nedenleri arasındadır.

2.3.1.3. DenseNet-121

DenseNet mimarisi, her katmanın çıktısını sonraki tüm katmanlarla paylaşarak yoğun bağlantı (dense connectivity) oluşturur (Huang vd., 2017). 121 katmanlı sürüm olan DenseNet-121 dört dense blok içerir ve hem gradyan akışını güçlendirir hem de özellik tekrarını azaltır. Parametre verimliliği sayesinde sınırlı veri içeren medikal görüntüleme problemlerinde öne çıkar. DenseNet yapısı, derinliğe rağmen ağırlık parametreleşmesini engelleyerek hem eğitim süresini hem de bellek kullanımını optimize eder.

2.3.1.4. VGG-16

VGG-16, Oxford Üniversitesi Görsel Geometri Grubu tarafından geliştirilen ve Simonyan ve Zisserman tarafından yayımlanan bir mimaridir. VGG-16, her biri 3×3 evrişim kullanan düzenli katman dizileriyle sade ama derin bir mimari sunar (Simonyan & Zisserman, 2015). Toplam 16 ağırlıklı katman, ReLU aktivasyonları ve ardışık maksimum havuzlama katmanlarıyla desteklenmiştir. Model, ön-eğitilmiş ağırlıklarının yaygınlığı sayesinde transfer öğrenmede güçlü performans sergiler ancak yüksek parametre sayısı daha fazla bellek ve hesaplama kaynağı gerektirir.

2.3.1.5. MobileNetV2

MobileNetV2, özellikle mobil ve gömülü cihazlar gibi sınırlı kaynaklara sahip ortamlarda derin öğrenme uygulamalarını mümkün kılmak için geliştirilmiş bir mimaridir. Sandler ve arkadaşları (2018) tarafından tanıtılan bu model, iki temel bileşenden oluşur: Ters artıklı bloklar (Inverted Residual) ve Doğrusal darboğaz (Linear Bottleneck) yapıları. Inverted residual bloklar, dar giriş ve çıkış katmanları ile geniş bir ara katman arasında konvolüsyon işlemleri gerçekleştirerek bilgi kaybını azaltır. Linear bottleneck ise aktivasyon fonksiyonlarının neden olabileceği bilgi bozulmasını önlemeye yardımcı olur. MobileNetV2, düşük parametre sayısı ve işlem gücü gereksinimi ile özellikle gerçek zamanlı medikal görüntü sınıflandırma uygulamaları için uygundur (Sandler vd., 2018).

2.3.2. Transformer Tabanlı Modeller

Son yıllarda derin öğrenme alanında CNN'ler, özellikle görsel verilerle yapılan görevlerde yüksek başarı sağlamıştır. Ancak CNN'lerin yapısı gereği yalnızca yerel komşuluk ilişkilerine odaklanmaları uzun mesafeli ilişkileri öğrenmede sınırlı kalmalarına yol açmaktadır. Bu sınırlamayı aşmak üzere Vaswani ve arkadaşları (2017) tarafından geliştirilen Transformer mimarisi, tüm girdi öğeleri arasında küresel bağlam ilişkisi kurabilen öz-dikkat (self-attention) mekanizmasına dayanmaktadır. Bu yapı, her bir öğenin diğer tüm öğelerle olan ilişkisini doğrudan öğrenmesini sağlayarak uzun mesafeli ilişkilerin daha etkili şekilde modellenmesini mümkün kılmıştır (Vaswani vd., 2017).

Transformer mimarisi, özellikle çok başlıklı öz-dikkat (multi-head self-attention) mekanizmasıyla öne çıkmaktadır. Bu yapı, veriler arasındaki ilişkileri paralel olarak işleyebilmekte ve farklı dikkat başlıkları aracılığıyla çeşitli bağlamsal örüntüleri eşzamanlı olarak öğrenebilmektedir. Model, geleneksel RNN veya CNN gibi sıralı yapılar yerine her bir öğe için dikkat matrisi hesaplayarak her girdinin diğer tüm girdilerle olan ilişkisini vektörel olarak değerlendirir. İlk olarak doğal dil işleme (NLP) alanında kullanılan bu yapı, daha sonraları görsel veri işleme (örneğin görüntü sınıflandırma) gibi iki boyutlu görevlere de uyarlanmıştır.

Transformer yapısı, encoder ve decoder olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Encoder bölümü, girdilerin bağlamsal temsillerini üretirken decoder, sıralı çıktı üretiminde bu temsilleri kullanarak tahmin yapmaktadır. Her iki yapı da çok başlıklı dikkat, ileri beslemeli katman (feed-forward network – FFN), katman normalizasyonu (layer normalization) ve artık bağlantılar gibi ortak bileşenlerden oluşur. Girdilere sırasal bilgi kazandırmak amacıyla pozisyonel kodlama (positional encoding) uygulanır. Bu mekanizma, modelin sırayla ilerleyen veri yapılarını anlayabilmesini sağlar.

2.3.2.1. Encoder Bloğu

Encoder bölümü, ardışık olarak yerleştirilmiş N adet bloktan oluşur. Her encoder bloğunda aşağıdaki alt yapılar yer alır:

Giriş Gömme ve Pozisyonel Kodlama: Görüntü veya metin gibi girdiler, sabit boyutlu vektörlere dönüştürülerek modele verilir. Pozisyonel kodlama sayesinde bu vektörlere sıralı bilgi eklenir.

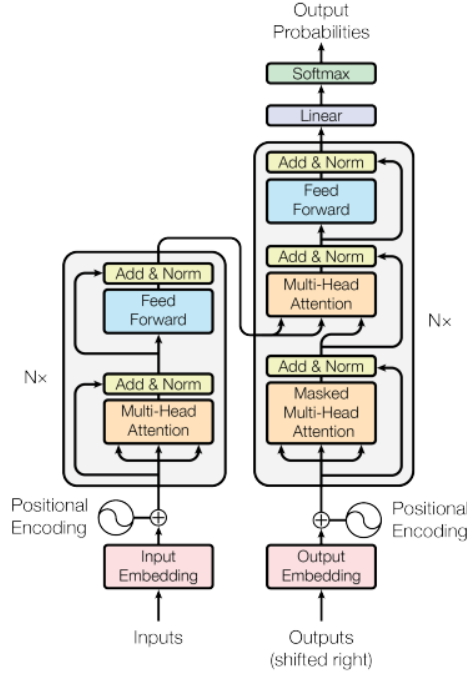
Çok Başlıklı Öz-Dikkat: Her öğe, diğer tüm öğelerle olan bağlamsal ilişkisini değerlendirir. Birden fazla başlıkla yapılan dikkat işlemi, modelin farklı düzeylerde ilişki öğrenmesini sağlar.

Artık Bağlantı ve Katman Normu (Add & Norm): Dikkat çıktısı, girişle toplanır (residual connection) ve katman normalizasyonu uygulanır.

İleri Beslemeli Ağ (FFN): Her pozisyona bağımsız olarak uygulanan iki katmanlı doğrusal dönüşüm ağıdır.

Add & Norm: FFN'den elde edilen çıktı tekrar residual bağlantı ve normalizasyon işleminden geçirilir.

Bu yapılar, her encoder bloğunda tekrar edilerek daha derin ve öğrenme kapasitesi yüksek bir yapı oluşturulur.



Şekil 5: Transformer mimari yapısı (Vaswasani vd.,2017).

2.3.2.2. Decoder Bloğu

Decoder bölümü, encoder'dan gelen bağlamsal temsiller ile etkileşim kurarak sıralı çıktı üretir. Özellikle dil modelleme ve makine çevirisi gibi görevlerde kullanılır. Decoder yapısında encoder'a ek olarak maskeli dikkat mekanizması (masked multi-head attention) yer alır. Bu yapı sayesinde model hâlâ üretilmemiş olan gelecekteki kelimelere (veya simgelere) erişemez ve böylece yalnızca geçmiş bilgilere dayanarak çıktı üretmeyi öğrenir (Vaswani vd., 2017).

Ancak görüntü sınıflandırma gibi görevlerde tüm girdiler (örneğin bir retina görüntüsünden elde edilen yama temsilleri) modele aynı anda verilir ve çıktı olarak tek bir sınıf etiketi üretilir. Bu nedenle decoder bloğuna ihtiyaç duyulmaz. Ayrıca decoder'ın getireceği ek hesaplama yükü ve bellek gereksinimi görsel görevlerde gereksiz bir karmaşıklık oluşturmaktadır. Bu nedenle ViT ve Swin Transformer gibi görsel Transformer modelleri yalnızca encoder tabanlı mimariler olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada iki farklı Transformer mimarisi değerlendirilmiştir:

2.3.2.3. ViT-Base

ViT, görüntüleri sabit boyutlu yamalara (patch) bölerek her birini sırayla işleyen bir Transformer modelidir. Her yama, bir kelime vektörü gibi işlem görür ve bu temsiller pozisyonel kodlama ile zenginleştirilerek modele sunulur. ViT, saf self-attention yapısıyla görüntüdeki küresel bağlam ilişkilerini öğrenmede güçlüdür. Ancak bu mimari, yüksek performans için genellikle çok büyük ölçekli veri kümelerine (örneğin ImageNet-21k) ihtiyaç duyar. Küçük veri kümelerinde ise aşırı öğrenme riski taşımaktadır (Dosovitskiy vd., 2020).

2.3.2.4. Swin Transformer

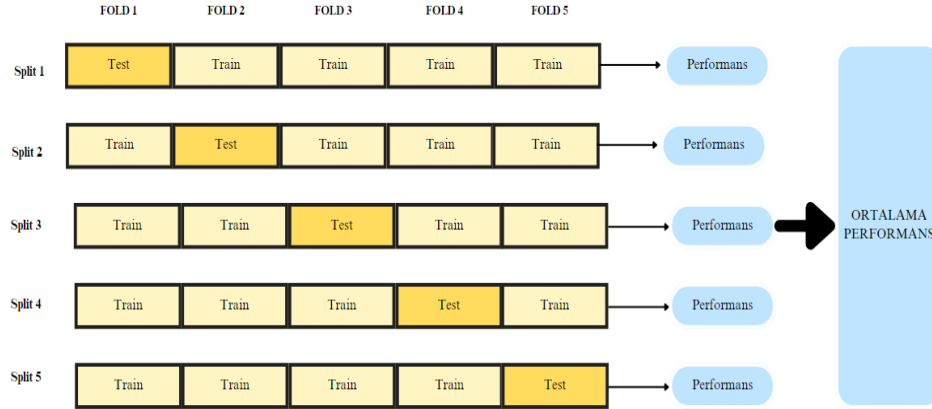
Swin Transformer, ViT mimarisinin hesaplama maliyeti ve ölçeklenebilirlik sınırlamalarını gidermek üzere geliştirilmiş çok-ölçekli özellik çıkarımına olanak tanıyan hiyerarşik bir görsel Transformer modelidir. Model, kendinden dikkat (self-attention) işlemini sabit boyutlu yerel pencereler içinde hesaplayarak karmaşıklığı doğrusal düzeyde tutar ve her katmanda pencereleri kaydırarak (shifted window) çapraz pencere bağlantıları yaratır. Böylelikle hem yerel ayrıntıları hem de küresel bağlamı ortak bir temsil içinde öğrenir. Katmanlar derinleştikçe yamalar birleştirilerek oluşturulan hiyerarşik yapı, CNN'lerdeki çok seviyeli (low-to-high level) temsillere benzeyen çok-ölçekli özellik haritaları

üretir (Liu vd., 2021). Bu tasarım, modelin medikal görüntü sınıflandırma gibi görevlerde hem yüksek doğruluk hem de verimli bellek/kullanım süresi avantajları sunmasını sağlamıştır.

Her bir model, aynı veri seti ve aynı eğitim protokolü altında değerlendirilmiş olup performansları, doğruluk, F1-Skor ve QWK gibi metrikler üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir

2.4. Model Eğitimi ve Deneysel Protokol

Modelin eğitimi, derin öğrenme literatüründe yaygın olarak kullanılan yapılandırmalar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kullanılan hiperparametreler ve sistemsel ayarlamalar Tablo 2’de özetlenmiştir.



Şekil 6: 5-Katlı çapraz doğrulama yapısı.

Eğitim süreci boyunca Şekil 6’da mimari yapısı gösterilen 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak veri seti dengeli bir şekilde katmanlara ayrılmış ve her kat için eğitim ve doğrulama işlemleri bağımsız biçimde yürütülmüştür. Optimizasyon algoritması olarak AdamW tercih edilmiş, öğrenme oranı zamanla azalan bir yapıda CosineAnnealingWarmRestarts stratejisiyle güncellenmiştir. Eğitim, maksimum 50 epoch (dönem) sürecek şekilde yapılandırılmış ve doğrulama kaybında ardışık 5 epoch boyunca iyileşme gözlemlenmediğinde erken durdurma mekanizması devreye girmiştir.

Tablo 2: Model eğitim sürecinde kullanılan hiperparametreler.

Parametre	Değer / Açıklama
Epoch sayısı	50
Batch boyutu	8
Optimizasyon algoritması	AdamW
Başlangıç öğrenme oranı	1e-4
Öğrenme oranı planlayıcısı	CosineAnnealingWarmRestarts
Kayıp fonksiyonu	CrossEntropyLoss
Çapraz doğrulama	5-Fold Stratified
Erken durdurma	patience = 5

2.5. Performans Değerlendirme Metrikleri

Model performansı doğruluk, F1-Skor, QWK ve Karmaşıklık Matrisi gibi farklı metriklerle değerlendirilmiştir. Özellikle sınıflar arası dengesiz veri dağılımı nedeniyle QWK ve F-1 skor doğruluk değerinden daha anlamlı metrikler olarak değerlendirilmiştir.

2.5.1. Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix)

Çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde her sınıfın doğru ve yanlış tahminlerini dört temel kategoriye ayırarak gösteren matristir:

		GERÇEK	
		Pozitif	Negatif
TAHMİN	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

Şekil 7: Karmaşıklık matrisi

Bu 4 kategori:

- 1-TP (True Positive): Doğru şekilde pozitif sınıfa atanmış örnekler
- 2-FP (False Positive): Yanlış şekilde pozitif sınıfa atanmış örnekler
- 3-FN (False Negative): Yanlış şekilde başka sınıfa atanmış gerçek pozitif örnekler
- 4-TN (True Negative): Doğru şekilde başka sınıfa atanmış örnekler

2.5.2. Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk sınıflandırma modelinin toplam örnekler içerisindeki doğru tahmin oranını ifade eder. En temel ve yaygın olarak kullanılan değerlendirme metriklerinden biridir.

$$Accuracy = Doğruluk = \frac{Doğru\ Tahmin\ Sayısı}{Toplam\ Örnek\ Sayısı} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Accuracy metriği modelin genel başarımını özetleyen temel bir ölçüt olsa da özellikle sınıf dağılımının dengesiz olduğu durumlarda yanıltıcı sonuçlar verebilir. Çünkü model çoğunluk sınıfına aşırı odaklanarak yüksek doğruluk elde edebilirken azınlık sınıflarda ciddi hata yapabilir. Bu durum modelin genel başarı düzeyini olduğundan yüksek gösterir (Saito ve Rehmsmeier, 2015).

2.5.3. Hassasiyet (Sensitivity / Recall / True Positive Rate)

Hassasiyet metriği modelin gerçekten pozitif olan örneklerin ne kadarını doğru tahmin ettiğini gösterir (Gerçekten hasta olan kaç kişiyi doğru tanıdık).

$$Hassasiyet = Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

2.5.4. Özgüllük (Specificity / True Negative Rate)

Özgüllük metriği model gerçekten negatif olan örneklerin ne kadarını doğru dışladı onu anlamamıza yardımcı olur (Gerçekten sağlıklı olan kişileri ne kadar doğru tanıdık).

$$Özgüllük = \frac{TN}{TN + FP}$$

2.5.5. Kesinlik (Precision / Positive Predictive Value)

Kesinlik metriğini hesaplayarak modelin pozitif olarak tahmin ettiklerinin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu hesaplayabiliriz (“Hastasın” dediğimiz kişilerin ne kadarı gerçekten hasta çıktı).

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP + FP}$$

2.5.6. F-1 Skor (F1-Score)

F1-Skoru, bir sınıflandırma modelinin kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasıdır. Bu metrik, özellikle sınıf dağılımının dengesiz olduğu veri kümelerinde modelin yalnızca baskın sınıfları değil, azınlık sınıfları da ne ölçüde doğru tahmin edebildiğini göstermek açısından tercih edilir (Saito & Rehmsmeier, 2015).

$$F - 1 \text{ Skor} = 2 \times \frac{Kesinlik.Hassasiyet}{Kesinlik + Hassasiyet}$$

Çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde, her sınıf için ayrı ayrı F1 skoru hesaplanabilir. Ancak sınıflar arasında belirgin örnek sayısı farkları bulunduğunda, modelin azınlık sınıflardaki başarımını daha adil ölçmek için ağırlıklı ortalama (weighted-average) F1 skoru tercih edilir. Bu yöntem, her sınıfın $F1_i$ değerini o sınıfa ait örnek sayısı n_i ile ağırlıklandırarak genel F1 skorunu hesaplar (Sokolova & Lapalme, 2009):

$$F1_{weighted} = \sum_{i=1}^C \frac{n_i}{N} \cdot F1_i$$

Burada,

C: Sınıf sayısı,

n_i : i. sınıfa ait örnek sayısı,

$N = \sum_{i=1}^C n_i$: Toplam örnek sayısı,

$F1_i$: i. sınıfa ait F1 skoru.

Bu yaklaşım, her sınıfın katkısını örnek sayısına göre dengeleyerek çoğunluk ve azınlık sınıflara eşit önem atfeder ve dengesiz veri kümelerinde başarıyı daha gerçekçi yansıtır.

2.5.7. Kuadratik Ağırlıklı Kappa Katsayısı (Quadratic Weighted Kappa)

Bu çalışmada sınıflandırma problemi sıralı (ordinal) sınıflar içerdiği için modelin performansı yalnızca doğru/yanlış tahmin sayısına değil, tahminin ne kadar uzak sınıflara yapıldığına da duyarlı bir metrik olan QWK ile değerlendirilmiştir. QWK, Cohen’in Kappa istatistiğinin bir genellemesi olup her sınıf hatasına karelenmiş uzaklığa dayalı bir ceza uygular (Ben-David, 2008; Cohen, 1968).

$$K = 1 - \frac{\sum_{i,j} W_{i,j} O_{i,j}}{\sum_{i,j} W_{i,j} E_{i,j}}$$

$O_{i,j}$: Gözlenen frekans matrisi (gerçek sınıf i, tahmin edilen sınıf j)

$E_{i,j}$: Beklenen frekans (rastgele tahmin varsayımıyla)

$W_{i,j}$: Ağırlık fonksiyonu, sınıflar arası farkın karesine dayalıdır:

$$W_{i,j} = \frac{(i-j)^2}{(c-1)^2}$$

QWK değeri -1 ile 1 arasında değişir:

K =1 : Mükemmel uyum

K=0: Şansa bağlı tahmin

K<0: Rastgeleden daha kötü performans

Bu yaklaşım sayesinde örneğin gerçek sınıfı 4 olan bir örneğin 3 olarak tahmin edilmesi, 0 olarak tahmin edilmesinden daha az cezalandırılır. Bu da sıralı etiketli görevlerde daha gerçekçi bir başarı ölçümü sağlar.

3. SONUÇ

Bu bölümde önerilen CNN ve Transformer tabanlı modellerin sınıflandırma başarımı hem çoklu sınıflandırma hem de ikili sınıflandırma problemleri kapsamında değerlendirilmiştir. Elde edilen ortalama doğruluk, F1 skoru ve QWK değerleri 5-kat çapraz doğrulama ile hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak Tablo 3 ve Tablo 4’te sunulmuştur.

Çalışmada değerlendirilen yedi derin öğrenme mimarisinin APTOS 2019 veri seti üzerindeki 5-katlı çapraz doğrulama sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4’te özetlenmiştir. Çoklu sınıflandırma (0-4 evre) senaryosunda Transformer temelli Swin Transformer modelinin % 83,67 doğruluk, % 83,0 F1 ve % 90,07 QWK ile en yüksek genel performansı sergilediği görülmektedir. Bu değer, yerel pencere-tabanlı dikkat mekanizmasının küçük lezyon odaklarını küresel damar yapılarıyla birlikte öğrenebilme yeteneğini yansıtmaktadır. CNN grubunda MobileNetV2 ve DenseNet-121 sırasıyla % 82,75 ve % 81,91 doğrulukla öne çıkarken; kompakt ViT-Base mimarisi % 78,45 doğrulukta kalmıştır – bu da ViT’in etiketli veri ölçeğine duyarlı yapısıyla uyumludur.

Tablo 3: Modellerin çoklu sınıflandırma için 5-kat ortalama başarı karşılaştırması

Model	Tür	Doğruluk (%)	F-1 Skor (%)	QWK (%)
ResNet-18	CNN	80.25	70.0	84.08
EfficientNet-B0	CNN	78.49	78.0	84.92
DenseNet-121	CNN	81.91	81.0	87.18
VGG-16	CNN	82.01	82.0	87.06
MobileNetV2	CNN	82.75	82.0	87.20
ViT-Base	Transformer	78.45	77.0	85.20
Swin Transformer	Transformer	83.67	83.0	90.07

İkili sınıflandırma (sağlıklı/DR) sonuçları tüm mimarilerde belirgin bir artışa işaret etmektedir (Tablo 4). Özellikle DenseNet-121, % 98,36 doğruluk ve % 96,71 QWK ile en yüksek ayırt edici gücü göstermiş; VGG-16 ve Swin Transformer modelleri % 98 dolayındaki F1 skorlarıyla rekabetçi değerler elde etmiştir. Sınıf sayısının azalması karar sınırlarını keskinleştirerek CNN mimarilerine hafif bir avantaj sağlamış, ancak Swin Transformer çoklu ve ikili senaryolar arasında en dengeli performansı korumuştur.

Tablo 4: Modellerin ikili sınıflandırma için 5-kat ortalama başarı karşılaştırması

Model	Tür	Doğruluk (%)	F-1 Skor (%)	QWK (%)
ResNet-18	CNN	97.21	97.0	94.41
EfficientNet-B0	CNN	97.48	97.0	94.96

DenseNet-121	CNN	98.36	98.0	96.71
VGG-16	CNN	98.03	98.0	96.06
MobileNetV2	CNN	97.95	98.0	95.89
Swin Transformer	Transformer	97.89	98.0	95.78
ViT-Base	Transformer	95.98	96.0	91.95

Sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında (Tablo 5-6) önemli bulgular ortaya çıkmaktadır:

Tablo 5: Çoklu sınıflandırma literatür karşılaştırması

Çalışma	Model	Sınıflandırma	F-1 Skor (%)	QWK (%)
AlDahoul vd., 2021	Vision Transformer	Çoklu	42.0	60.2
Chilukoti vd., 2022	EfficientNet-B3	Çoklu	84.0	85.0
Bu çalışma	Swin Transformer	Çoklu	83.0	90.1

Çoklu sınıflandırmada önerilen Swin Transformer'ın % 90,1 QWK skoru, EfficientNet-B3 temelli modele (Chilukoti vd., 2022) göre ≈ 5 puanlık iyileştirme sağlarken, Vision Transformer'ın (AlDahoul vd., 2021) raporladığı % 60,2 QWK değerini belirgin biçimde geride bırakmaktadır.

Tablo 6: İkili sınıflandırma literatür karşılaştırması

Çalışma	Model	Sınıflandırma	F-1 Skor (%)	QWK (%)
Shakibania vd., 2024	Dual-CNN	İkili	98.5	96.9
Khudaier vd., 2024	MobileNet	İkili	94.5	89.0
Bu çalışma	VGG-16	İkili	98.0	96.7

İkili senaryoda VGG-16 modeli (% 98 F1, % 96,7 QWK), MobileNet tabanlı yaklaşımın (Khudaier vd., 2024) % 94,5 F1 ve % 89,0 QWK skorlarını aşmış; Dual-CNN sisteminin (Shakibania vd., 2024) % 98,5 F1 / % 96,9 QWK performansı ile neredeyse aynı düzeye ulaşmıştır.

Bu bulgular, hiyerarşik Transformer mimarilerinin (ör. Swin) retina görüntülerinde CNN'lere kıyasla tutarlı üstünlük sağlayabileceğini, ancak CNN tabanlı DenseNet-121 gibi parametre-verimli modellerin ikili tarama görevlerinde hâlen son derece rekabetçi olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmaların daha büyük ve dengeli veri kümeleri üzerinde çok-merkezli klinik doğrulamalar içermesi ve açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI) teknikleriyle karar süreçlerini şeffaflaştırması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından, FYL-2024-14050 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Aldahoul, N., Karim, H. A., Tan, M. J. T., Momo, M. A., & Fermin, J. L. (2021). Encoding retina image to words using ensemble of vision transformers for diabetic retinopathy grading. *F1000Research*, 10(948), 948.

Anand, V., Koundal, D., Alghamdi, W. Y., & Alsharbi, B. M. (2024). Smart grading of diabetic retinopathy: An intelligent recommendation-based fine-tuned EfficientNetB0 framework. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, Article 1396160. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1396160>

Boulaabi, M., Ben Aïcha Gader, T., & Ben Amor, N. (2025). Enhancing diabetic retinopathy classification with Swin Transformer and shifted window attention (arXiv:2504.15317). *arXiv*.

- Cao, Y., Jiang, H., & Chen, X. (2024). STMF-DRNet: A multi-branch fine-grained classification model for diabetic retinopathy grade assessment. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 241, 107717. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2024.107717>
- Chilukoti, S. V., Maida, A. S., & Hei, X. (2022). Diabetic retinopathy detection using transfer learning from pre-trained convolutional neural network models. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20, 1-10.
- Dai, L., Sheng, B., Chen, T., et al. (2024). A deep learning system for predicting time to progression of diabetic retinopathy. *Nature Medicine*, 30(2), 584-594. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02702-z>
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., ... & Houlsby, N. (2020). An image is worth 16×16 words: Transformers for image recognition at scale. *arXiv preprint arXiv:2010.11929*.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 770-778). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 4700-4708). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.243>
- Kaggle. (2019). APTOS 2019 Blindness Detection [APTOS-2019]. <https://www.kaggle.com/competitions/aptos2019-blindness-detection>
- Khan, I. U., Khan, R., Fatema, K., et al. (2023). A computer-aided diagnostic system to identify diabetic retinopathy severity using a fine-tuned compact convolutional transformer. *Biomedicines*, 11(6), 1566. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061566>
- Khudaier, A. H., & Radhi, A. M. (2024). Binary classification of diabetic retinopathy using CNN architecture. *Iraqi Journal of Science*, 963-978.
- Kumar, N. S., & Karthikeyan, B. R. (2021). Diabetic retinopathy detection using CNN, Transformer and MLP based architectures. In *2021 International Symposium on Intelligent Signal Processing & Communication Systems* (pp. 1-2). IEEE.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60-88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
- Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., & Guo, B. (2021). Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using shifted windows. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV 2021)* (pp. 10012-10022). <https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.00986>
- Mohan, N. J., Murugan, R., Goel, T., & Roy, P. (2022). ViT-DR: Vision Transformers in diabetic retinopathy grading using fundus images. In *2022 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference*. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC54060.2022.9930027>

- Odigie, M. O., George, G. O., Igodan, E. C., & Ukaoha, K. C. (2024). Detection of diabetic retinopathy using VGG19 and ResNet 50 models. *East African Scholars Journal of Engineering and Computer Sciences*, 7(8), 84-96.
<https://doi.org/10.36349/easjecs.2024.v07i08.002>
- Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision–recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLOS ONE*, 10(3), e0118432.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432>
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018). MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 4510-4520). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00474>
- Shakibania, H., Raoufi, S., Pourafkham, B., Khotanlou, H., & Mansoorizadeh, M. (2024). Dual branch deep learning network for detection and stage grading of diabetic retinopathy. *Biomedical Signal Processing and Control*, 93, 106168.
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
<https://arxiv.org/abs/1409.1556>
- Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427-437.
<https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
- Tan, M., & Le, Q. V. (2019). EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML)* (pp. 6105-6114). <https://arxiv.org/abs/1905.11946>
- Teo, Z. L., Tham, Y. C., Yu, M., et al. (2021). Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: Systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*, 128(11), 1580-1591. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.04.027>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 30).
https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf
- Yang, R., Li, X., Chen, J., & Zhou, Y. (2024). Vision Transformer with masked autoencoders for referable diabetic retinopathy classification based on large-size retina images. *PLOS ONE*, 19(2), e0299265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299265>
- Zhao, C., Li, Y., & Wang, G. (2023). Advances in medical image analysis with Vision Transformers: A comprehensive review. *Medical Image Analysis*, 86, 102850.
<https://doi.org/10.1016/j.media.2023.102850>
- Wu, J., Wan, Z., Cheng, W., et al. (2023). A wireless sensor system for diabetic retinopathy grading using MobileViT-Plus and ResNet-based hybrid deep learning framework. *Applied Sciences*, 13(11), 6569. <https://doi.org/10.3390/app13116569>

ADLI BİLİMLERDE YENİ BİR YAKLAŞIM: ÇOCUK İSTİSMARINA BAĞLI SİGARA YANIKLARININ SEM-EDS YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Doktora Öğrencisi. DİDEM ÇİLENGİROĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yüksek Lisans Enstitüsü, Adli Bilimler Ana Bilim Dalı
21282781@stu.omu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8497-0404

Prof. Dr. YILDIRAY TOPCU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
ytopcu@omu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2095-660

Özet

Çocuk istismarı, küresel ölçekte ciddi bir halk sağlığı problemi olmasının yanı sıra, adli bilimler açısından da karmaşık ve hassas bir inceleme alanıdır. Fiziksel istismarın göstergelerinden biri olan yanık lezyonları, özellikle sigara ile oluşturulmuşsa, mağdurun maruz kaldığı ihmal ve şiddetin doğrudan bir göstergesi olabilir. Bu tür lezyonlar, istismar vakalarında ayırt edici nitelikte değerlendirilmekte ve adli soruşturmalarda önemli bir kanıt olarak kabul edilmektedir. Ancak bu lezyonların kaynağının yalnızca görsel değerlendirme ile tespiti, öznel yorumlara açık olduğundan, adli süreçlerde bilimsel destekle doğrulanması gerekmektedir. Özellikle mağdurun küçük yaşta olması, ifade verememesi ya da bilişsel yetersizlik gibi durumlar göz önünde bulundurulduğunda, objektif ve bilimsel yöntemlerle yapılan analizler daha da büyük bir önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS) gibi ileri düzey mikroskobik ve kimyasal analiz yöntemlerinin, söz konusu lezyonların kimyasal bileşiminin incelenmesinde ve olay yerinden elde edilen sigara izmaritleriyle olası bir eşleşmenin ortaya konulmasında kullanılabilirliği dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Adli Bilimler, Çocuk İstismarı, Sigara Yanığı, İzmarit, SEM-EDS

A NOVAL APPROACH IN FORENSIC SCIENCES: EXAMINATION OF CIGARETTE BURNS ASSOCIATED WITH CHILD ABUSE USING THE SEM-EDS METHOD

Abstract

Child abuse is a serious public health issue on a global scale and, at the same time, a complex and sensitive area of investigation in forensic sciences. Burn lesions, which are among the physical indicators of abuse, may serve as direct evidence of the neglect and violence to which the victim has been subjected, especially when caused by a cigarette. Such lesions are considered distinctive in abuse cases and are regarded as significant evidence in forensic investigations. However, determining the origin of these lesions solely through visual assessment is susceptible to subjective interpretation, and therefore, scientific validation is essential within judicial processes. This need becomes even more critical in cases where the victim is very young, unable to testify, or has cognitive impairments. In this context, advanced microscopic and chemical analysis techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) offer valuable potential for examining the chemical composition of the suspected burn lesions and identifying possible correlations with cigarette butts found at the crime scene. The applicability of these methods in forensic casework may contribute to the generation of objective and scientifically sound evidence, ultimately supporting both the legal process and the protection of child victims.

Keywords: Forensic Science, Child Abuse, Cigarette Burn, Cigarette Butt, SEM-EDS

1. GİRİŞ

Küçük çocuklarda yanık yaralanmaları sıklıkla görülmektedir (Delgado vd., 2002; Nguyen vd., 2008). Bu vakaların yaklaşık %10-20'sinin fiziksel istismar veya ihmal kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir (Chester vd., 2006; Dissanaïke vd., 2010). Bu nedenle, istismara uğrayan çocukların belirlenmesi ve ileri kötü muameleden korunmaları büyük önem taşımaktadır. Fiziksel istismarın ayırt edici

belirtilerinden biri olan sigara yanığı lezyonları, özellikle mağdurun konuşamadığı ya da yaşamını yitirdiği durumlarda, adli soruşturmalarda tanı ve delil değerlendirmesi açısından güçlük yaratmaktadır (Tambuzzi vd.,2023).

Sigara yanıkları morfolojik olarak bazı karakteristik özellikler taşısa da, lezyonun oluşum şeklinin ve faille ilişkisinin netleştirilmesinde yalnızca bu gözlemsel verilere dayanmak yeterli olmayabilir. Bu nedenle, ileri düzey analiz tekniklerine duyulan ihtiyaç artmaktadır (Faller-Marquardt vd., 2008).

Bu çalışma, Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (SEM-EDS) yönteminin, şüpheli sigara yanıklarının olay yeri bulgularıyla karşılaştırmalı olarak analizinde nasıl kullanılabileceğini incelemektedir. Bilimsel analiz yöntemleriyle desteklenen bu yaklaşımın, adli süreçlerde delillerin yorumlanmasını güçlendirmesi ve çocuk istismarı vakalarında daha nesnel sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Çocuk istismarı şüphesi bulunan vakalarda, sigara ile oluşturulmuş olabilecek lezyonlardan biyopsi veya steril swab yöntemiyle örnekler alınması planlanmaktadır. Aynı zamanda olay yerinde bulunan sigara izmaritlerinden ve karşılaştırmalı analiz için aynı markaya ait yanmamış sigaralardan numuneler toplanması önerilmektedir. Metodolojik güvenilirliğin artırılması amacıyla iki kontrol grubu oluşturulması tavsiye edilmektedir:

(1) Pozitif kontrol olarak, laboratuvar ortamında aynı marka sigara kullanılarak deneysel olarak oluşturulmuş sigara yanığı içeren deri örnekleri;

(2) Negatif kontrol olarak, lezyon içermeyen sağlıklı deri dokusu örnekleri.

Tüm numunelerin, SEM-EDS analizine uygun şekilde hazırlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, numuneler protokollere göre işlenmeli ve iletken olmayan örneklerde analiz öncesinde altın kaplama işlemi uygulanmalıdır. Toplanan verilerin analizi çok katmanlı bir değerlendirme sürecini içermelidir. Öncelikle, şüpheli yanık lezyonlarından ve sigara izmaritlerinden elde edilen SEM görüntülerinin morfolojik yapıları karşılaştırmalı olarak incelenmelidir. Bunu takiben, EDS ile elde edilen spektrumların hem nitel hem de nicel açıdan analizi yapılması önerilmektedir. Ayrıca, elde edilen elementel dağılım haritaları karşılaştırılarak, yanık bölgesinde sigaraya özgü kimyasal izlerin mekansal dağılımı değerlendirilebilir. Bu kapsamda, özellikle sülfür trioksit (SO_3) ve fosfor pentoksit (P_2O_5) gibi sigara dumanı veya yanığı ile ilişkilendirilebilecek karakteristik bileşiklerin varlığına odaklanılmalıdır (Tambuzzi vd., 2023). Elde edilen tüm verilerin istatistiksel analizlerle değerlendirilmesi ve gruplar arası farkların anlamlılık düzeylerinin belirlenmesi, yöntemin adli geçerliliğini destekleyici nitelikte olacaktır. Bu yöntemle, şüpheli yanık lezyonlarında bulunan kimyasal izlerin, sigara izmaritlerinden elde edilen izlerle karşılaştırılması mümkün olabilir ve adli soruşturmalarda bilimsel delil niteliği taşıyan veriler elde edilmesine katkı sağlayabilir.

2.1. Sigara Yanıklarının Morfolojik Özellikleri ve Adli Önemi

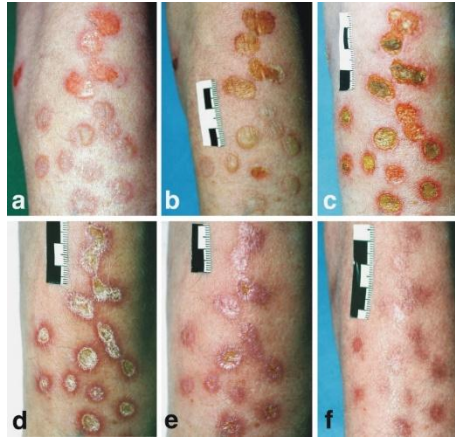
Sigara yanıkları, genellikle yuvarlak şekilli, sınırlı ve merkezi çökük ya da delikli morfolojik özellikler sergiler. Bu tür lezyonların oluşumu, birkaç saniye boyunca sigaranın doğrudan ve yoğun bir şekilde ciltle temasını gerektirdiğinden, kazara meydana gelme olasılığı oldukça düşüktür. Birden fazla lezyonun varlığı, özellikle çocuk istismarı, işkence, tutuklular arası şiddet ya da psikiyatrik bozukluklara bağlı kendine zarar verme gibi kasıtlı eylemleri düşündürmektedir (Faller-Marquardt vd., 2008). Ancak, yalnızca morfolojik bulgulara dayanarak tanı koymak, özellikle mağdurun ifade veremediği ya da olaya tanıklık eden kişilerin bulunmadığı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, tanının objektif ve bilimsel yöntemlerle desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Adli değerlendirmelerde, yaralanmanın kazara mı yoksa kasten mi meydana geldiğinin ve failin kim olduğunun belirlenmesi temel bir gerekliliktir. İster canlı bireylerde ister bedenlerde olsun, bir sigara yanığı lezyonu tanısı konsa bile, yaralanmanın kazara mı, kendi kendine mi yoksa üçüncü bir tarafça mı meydana geldiği sorusuna cevap vermek önemli ve acil hale gelir. Ancak, ikinci bağlamda, sigara yanığının kazara mı yoksa kasıtlı bir

olayın sonucu mu olduğunu daha fazla araştırmak ve değerlendirmek gerekir. Genel olarak, başka bir kişinin neden olduğu kazara sigara yanığı yaralanmaları, çoğunlukla sigara içen yetişkinlerin yakınında bulunan ve yanlışlıkla yanan sigaraya dokunan çocuklarda görülür. Bu durumda, lezyonlar yüz, boyun ve eller gibi giysiyle örtülmeyen vücut bölgelerinde lokalize olur. Genellikle yüzeysel, düzensiz veya oval şekilli, iyi tanımlanmamış ve heterojendirler. Sigara kullanan kişilerde—özellikle bilinç düzeyinde azalma olan veya ağrı hissi baskılanmış bireylerde—istem dışı yanıklar da oluşabilmektedir. Örneğin, madde bağımlılığı bulunan bireylerde sigaranın farkında olmadan ciltle temas etmesi sonucu vücudun çeşitli bölgelerinde ve giysiler üzerinde yanık izlerine rastlanabilmektedir (Pollak & Saukko, 2003).

Sigara ile kasten bedensel zarar verilmesi, özellikle çocuk istismarı, cinsel saldırı, işkence ve tutuklular arası şiddet gibi ağır insan hakları ihlallerine işaret eden vakalarda özel bir öneme sahiptir. Bu tür yanık izleri, çoğunlukla istismar olgularına özgü belirli anatomik bölgelerde saptanmaktadır (Knight, 1989). Sırt, avuç içleri, ayak tabanları, cinsel organlar, boyun, omuzlar, kalçalar, alın ve göğüs gibi vücut bölgelerinde yer alan lezyonlar; özellikle mağdurun ulaşması zor, giysiyle örtülü ya da korunmuş alanlarında bulunuyorsa, bu durum istismar olasılığını daha da güçlendirmektedir (Wynne, 2003).



Şekil 1: Eroin intoksikasyonundan ölen genç bir uyuşturucu bağımlısının orta ve işaret parmaklarında taze sigara yanıkları (Faller-Marquardt vd.,2008).



Şekil 2: Sol ön kolda kişinin sigara ile kasten oluşturduğu ikinci ve üçüncü derece yanıklar (Bkz. Vaka 1):(a) 16 saat;(b) 36 saat; (c) 1 hafta; (d) 2 hafta; (e) 3 hafta; (f) 8 hafta. (Faller-Marquardt vd.,2008).



Şekil 2: Otopsi sırasında gözlemlenen, sigara yanığı şüphesi olan lezyonun makroskopik görünümü (sol elmacık kemiği bölgesi); çok sayıda morumsu çürük net olarak görülebilmektedir. (Tambuzzi vd.,2023).

3. SONUÇ

Çocuk istismarı, günümüzde küresel ölçekte yaygınlığı giderek artan ve hem halk sağlığını tehdit eden hem de adli sistemler üzerinde ciddi ve çok boyutlu bir sorundur. Bu çalışma, istismar vakalarının tespitinde karşılaşılan zorluklara bilimsel bir çözüm sunarak, SEM-EDS analiz yönteminin sigara kaynaklı yanık lezyonlarının objektif değerlendirilmesinde etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan kapsamlı analizler sonucunda, sigaraya özgü SO_3 ve P_2O_5 gibi kimyasal bileşenlerin hem lezyon dokularında hem de olay yerinden elde edilen sigara izmaritlerinde tespit edilmesi, Locard'ın değişim prensibini destekleyerek kimyasal aktarımın güvenilir bir delil olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır. Bu bulgular özellikle ifade verme kapasitesi sınırlı olan çocuk mağdurların yer aldığı vakalarda büyük önem taşımaktadır. SEM-EDS yöntemi, bu tür hassas durumlarda istismarın bilimsel olarak ispatlanmasında kritik bir rol üstlenerek, adli süreçlerin nesnelliğini ve güvenilirliğini artırmaktadır. Çalışmanın sonuçları, adli bilimler uygulamalarında SEM-EDS tabanlı analizlerin standart prosedürler arasına alınabileceğini ortaya koyarken, çocuk istismarı soruşturmalarında yeni bir yaklaşım olma potansiyeli taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Chester, D. L., Jose, R. M., Aldlyami, E., King, H., & Moiemmen, N. S. (2006). Non-accidental burns in children—are we neglecting neglect?. *Burns*, 32(2), 222-228.
- Delgado, J., Ramirez-Cardich, M. E., Gilman, R. H., Lavarello, R., Dahodwala, N., Bazan, A., Lescano, A. (2002). Risk factors for burns in children: crowding, poverty, and poor maternal education. *Injury Prevention*, 8(1), 38-41.
- Dissanaïke, S., Wishnew, J., Rahimi, M., Zhang, Y., Hester, C., & Griswold, J. (2010). Burns as child abuse: risk factors and legal issues in West Texas and Eastern New Mexico. *Journal of Burn Care & Research*, 31(1), 176-183.
- Faller-Marquardt, M., Pollak, S., & Schmidt, U. (2008). Cigarette burns in forensic medicine. *Forensic Science International*, 176(2-3), 200-208.
- Nguyen, D. Q., Tobin, S., Dickson, W. A., & Potokar, T. S. (2008). Infants under 1 year of age have a significant risk of burn injury. *Burns*, 34(6), 863-867.
- Pollak, S., & Saukko, P. (2003). *Atlas of forensic medicine*. Amsterdam: Elsevier.
- Tambuzzi, S., Gentile, G., Primavera, R., Muccino, E., & Zoja, R. (2023). Pilot application of SEM/EDX analysis on suspected cigarette burns in a forensic autopsy case of child abuse. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 10-1097.
- Wynne, J. (2003). *Child physical and emotional abuse. Forensic Medicine: Clinical and Pathological Aspects*. Greenwich Medical, London, 469-85.

KARABİNALARIN YÜZEY İYİLEŞTİRMELERİ İÇİN KAPLAMA MODİFİKASYONU

Tural Ege Ertas

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
ege.ertas_@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-1221-4148

Dr. İlter Kilerci

Eko Endüstri, İzmir, Türkiye
ilter.kilerci@ekoendustri.com, ORCID: 0000-0003-2314-4966

Prof. Dr. Uğur Cavdar

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
ugur.cavdar@idu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3434-6670

Özet

Bu projede iş sağlığı ve güvenliği alanında yüksekte çalışmalarda bağlayıcı eleman olarak kullanılan EN 362 standardına sahip karabinaların aşındırıcı maddeler ile temasından kaynaklanan korozyonun yüzey iyileştirmeleri ile önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan metot bu konu hakkındaki çalışmalardan farklı olmakla birlikte inovatif bir yaklaşımı hedeflemektedir. Metal malzemelerin iyi mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olmasının yanı sıra mümkün olduğunca hafif ve güncel imal teknikleriyle üretilmesi önemli parametrelerdendir. Bu çalışmada çelik karabinaların kaplanarak yüzey iyileştirmeleri amaçlanmıştır. Kaplama öncesi karabinaların yüzeyine parlatma işlemi uygulanmıştır. Kaplama optimizasyonu için karabinalar TiN ve AlCrN kaplanarak 2 farklı çalışma yapılarak devam etmiştir. Kaplama optimizasyonunu belirlenebilmesi için 2 farklı kaplama türü parametresinde korozyon direnci, basma ve çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kendi arasında kıyaslanmıştır. Çalışma neticesinde optimizasyonu sağlanan karabina, kullanılan karabinalardan daha uzun ömürlü bir karabina kullanılabilesine olanak sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Karabina, Korozyon, Çekme Dayanımı, Yüzey Kaplamaları

COATING MODIFICATION FOR SURFACE IMPROVEMENT OF CARABINS

Abstract

In this project, it is aimed to prevent corrosion caused by contact with abrasive materials in carabiners with EN 362 standard used as connecting elements in high-altitude work in the field of occupational health and safety by surface improvements. The method used in the study is different from the studies on this subject, but it aims for an innovative approach. In addition to having good mechanical and electrical properties of metal materials, it is important to be produced as light as possible and with up-to-date manufacturing techniques. In this study, it is aimed to improve the surface of steel carabiners by coating. Before coating, polishing process was applied to the surface of carabiners. For coating optimization, carabiners were coated with TiN and AlCrN and 2 different studies were carried out. In order to determine the coating optimization, corrosion resistance, compression and tensile strength values were obtained in 2 different coating type parameters. The obtained results were compared among themselves. As a result of the study, the optimized carabiner will allow the use of a carabiner with a longer life than the carabiners used.

Keywords: Carabiner, Corrosion, Tensile Strength, Surface Coatings

1.GİRİŞ

Karabina iş sağlığı ve güvenliğinde bağlayıcılar arasında bulunan bir kişisel koruyucu donanım ekipmandır [1]. Kullanıcıya uygun güvenlik ve koruma sağlamak için kişisel koruyucu donanımlar ve bağlayıcıların özellikleri sürekli olarak geliştirilmelidir [2-5]. Karabinalar dağcılık, mağaracılık ve

endüstri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.[6] Zorlu hava koşulları, asit, tuz veya diğer aşındırıcı ve korozyona neden olan maddeler ile [7,8] teması sonucu malzemede aşınma ve korozyon gözlenmiştir. Bu etmenler malzemenin açma kapama mekanizmalarının deforme olmasına hem de ekipmanın kullanılamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle yapılacak olan kaplamalar, malzemenin korozyon direncini, sertliğini ve diğer mekanik özelliklerinde iyileştirme yapılması ve ekipmanın kullanım ömrünün artırılması amaçlanmaktadır.[9]

Bu proje çalışmasında somut hedefler:

1. Karabinaların kullanım ömrünü arttırmak.
2. Korozyon oluşumunun önüne geçmek veya azaltmak.
3. Mekanik özelliklerinde iyileştirmeler gerçekleştirmek.
4. Sertlik ve Aşınma direncinin artırılması.
5. Kullanıcı güvenliğini arttırmak.

Bu proje çalışmasında çeşitli alanlarda bağlayıcı eleman olarak kullanılan karabinaların asit ve tuzlu su gibi aşındırıcı maddelerle temas etmesinden kaynaklı karabinanın imalat malzemesinin korozyon direnci önemli bir parametredir ve bu nedenle iyileştirmeler yapılması hem karabinanın dayanıklılığını hem de kullanıcının güvenliğini arttırmaktadır [9].

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

2.1. İşlem Basamakları

Bu projede uygulanacak yöntemler şu şekildedir:

Proje çalışmasında öncelikle literatür çalışması yapılacaktır.

Literatür çalışmasından sonra TS EN 362 standardına uygun 12 adet vidalı tip çelik karabinanın temin edilmesi gerçekleştirilecektir ve numuneler parlatma işleminden sonra şirket tarafından kaplama işlemi 5 numune TiN, 5 numune AlCrN olacak şekilde kaplattırılacaktır.

Kaplama işlemleri sonrası 1 adet TiN kaplanmış karabina numunesi ve 1 adet AlCrN kaplanmış karabina numunesi ve 1 adet kaplanmamış numune çekme basma cihazı ile çekme testine [13] tabii tutulacaktır. 1 Adet Adet TiN kaplanmış karabina numunesi ve 1 adet AlCrN kaplanmış karabina numunesi üzerinde korozyon testi [14] yapılacaktır.

1 Adet TiN kaplanmış karabina numunesi ve 1 adet AlCrN kaplanmış karabina numunesi taramalı elektron mikroskobu [15] 1 saat tarama yapılması gerçekleştirilecektir.

1 adet TiN, 1 adet AlCrN ve 1 adet kaplanmamış numunelerin mikroyapıları çekilecektir ve sonrasında Vickers Sertlik Ölçüm Cihazı ile numunelerin sertlik [16] değerleri alınacaktır.

2.2.Çekme Testi

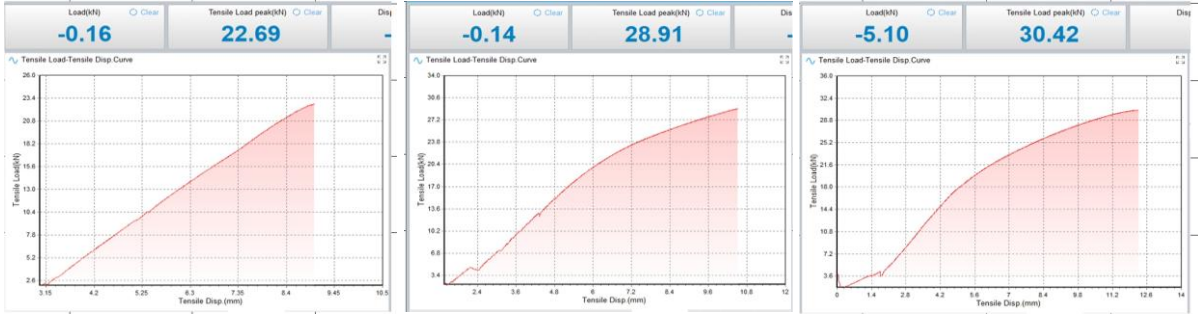
1 adet TiN kaplamalı numune, 1 adet AlCrN kaplamalı numune ve 1 adet saf numune WAW 600D Çekme Testi Cihazında TS EN ISO 6892-1 standardına göre çekme testine tabii tutulmuştur.

Şekil 1.a'da saf n umuneye ait çekme testi görseli, Şekil 1.b'de AlCrN kaplamalı numuneye ait çekme testi görseli ve Şekil 1.c'de TiN kaplamalı numuneye ait çekme testi görseli verilmiştir.



a) Saf Numune b) AlCrN Kaplamalı Numune c) TiN Kaplamalı Numune
Şekil 1. Çekme Testlerine Ait Görseller

Şekil 2.a'da saf numuneye ait çekme testi grafiği, Şekil 2.b'de AlCrN kaplamalı numuneye ait çekme testi grafiği ve Şekil 2.c'de TiN kaplamalı numuneye ait çekme testi grafiği verilmiştir.



a) Saf Numune b) AlCrN Kaplamalı Numune c) TiN Kaplamalı Numune
Şekil 2. Çekme Testi Grafikleri

Yapılan tester sonucunda saf numunenin 22.69 kN, AlCrN kaplamalı numunenin 28.91 kN ve TiN kaplamalı numunenin 30.42 kN çekme kuvveti uygulanmıştır. Uzama miktarları ise saf numunenin 9.45 mm, AlCrN kaplamalı numunenin 10.8 mm ve TiN kaplamalı numunenin ise 12.6 mm olarak ölçülmüştür.

2.3. Basma Testi

1 adet TiN kaplamalı numune, 1 adet AlCrN kaplamalı numune ve 1 adet saf numune WAW 600D Basma Testi Cihazında basma testine tabii tutulmuştur.

Şekil 3.a'da saf numuneye ait basma testi görseli, Şekil 3.b'de AlCrN kaplamalı numuneye ait basma testi görseli ve Şekil 3.c'de TiN kaplamalı numuneye ait basma testi görseli verilmiştir.



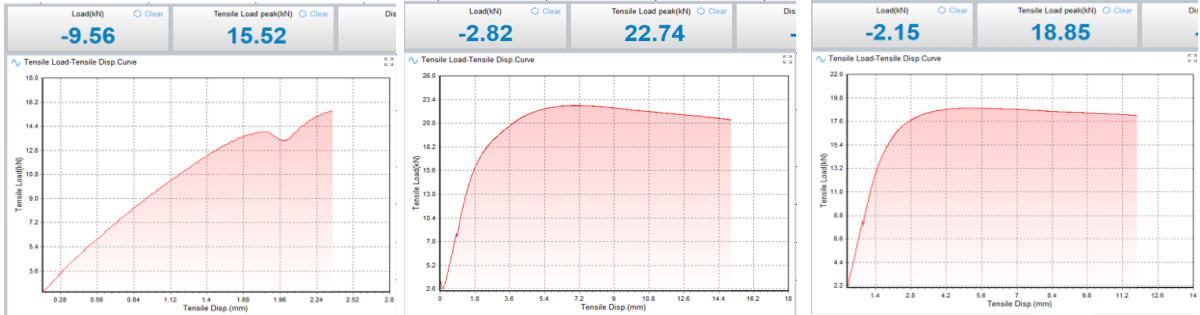
a) Saf Numune

b) AlCrN Kaplamalı Numune

c) TiN Kaplamalı Numune

Şekil 3. Basma Testlerine Ait Görseller

Şekil 4.a'da saf numuneye ait basma testi grafiği, Şekil 4.b'de AlCrN kaplamalı numuneye ait basma testi grafiği ve Şekil 4.c'de TiN kaplamalı numuneye ait basma testi grafiği verilmiştir.



a) Saf Numune

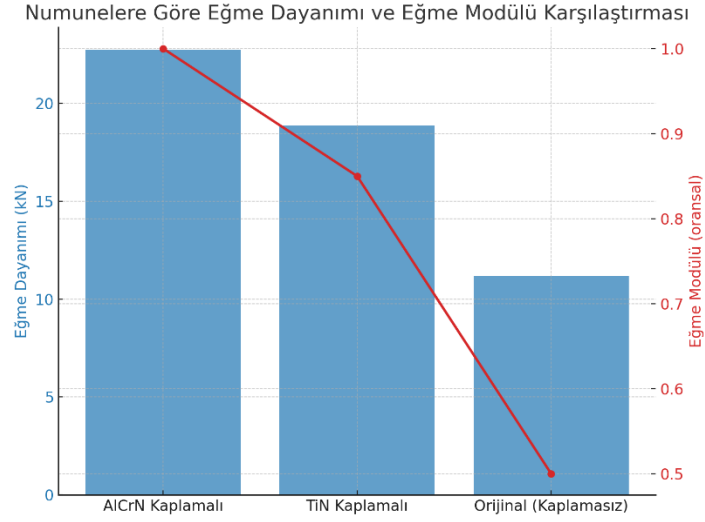
b) AlCrN Kaplamalı Numune

c) TiN Kaplamalı Numune

Şekil 4. Basma Testi Grafikleri

Yapılan test sonucunda saf numunenin eğme dayanımı 15.52 kN, AlCrN kaplamalı numunenin eğme dayanımı 22.74 kN ve TiN kaplamalı numunenin de eğme dayanımı 18.85 kN olarak bulunmuştur.

Yapılan test sonucunda ortaya çıkan sonuçlarla hesaplanan eğme dayanımı ve eğme modülü karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir.

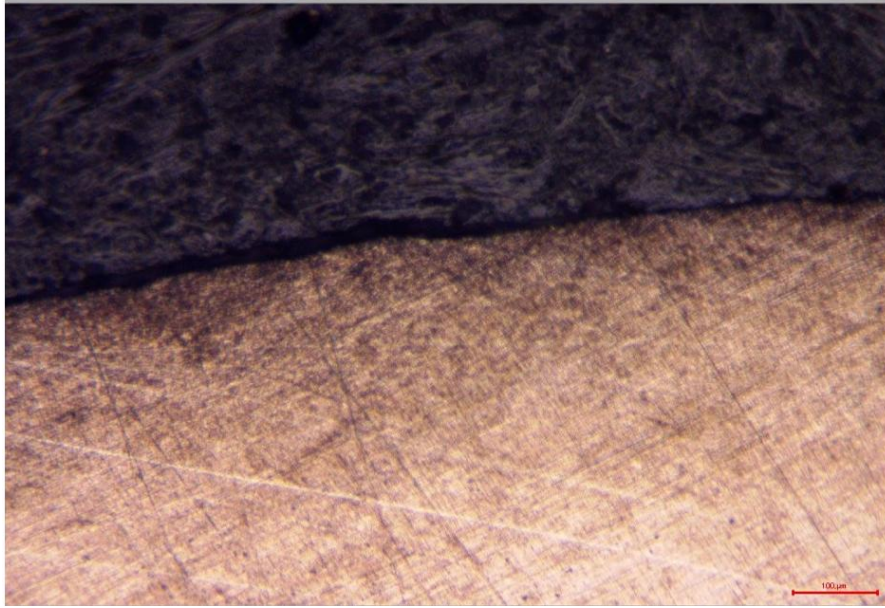


Şekil 5. Eğme Dayanımı ve Eğme Modülü Karşılaştırması

2.4. Mikroyapı Görüntüleri

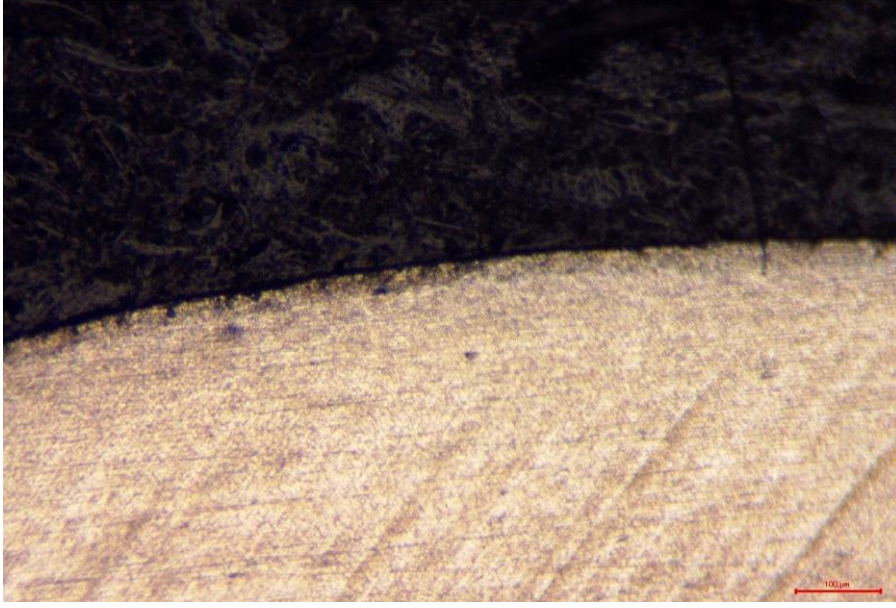
1 adet saf numune, 1 adet AlCrN kaplamalı numune ve 1 adet TiN kaplamalı numune nital etchant ile dağlanarak DİNOLİTE/D-14162-625 mikroyapı görüntüleme cihazında 100x büyütme ile çekilmiştir.

Şekil 6.a'da saf numuneye ait mikroyapı görüntüsü, Şekil 6.b'de AlCrN kaplamalı numuneye ait mikroyapı görüntüsü ve Şekil 6.c'de TiN kaplamalı numuneye ait mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



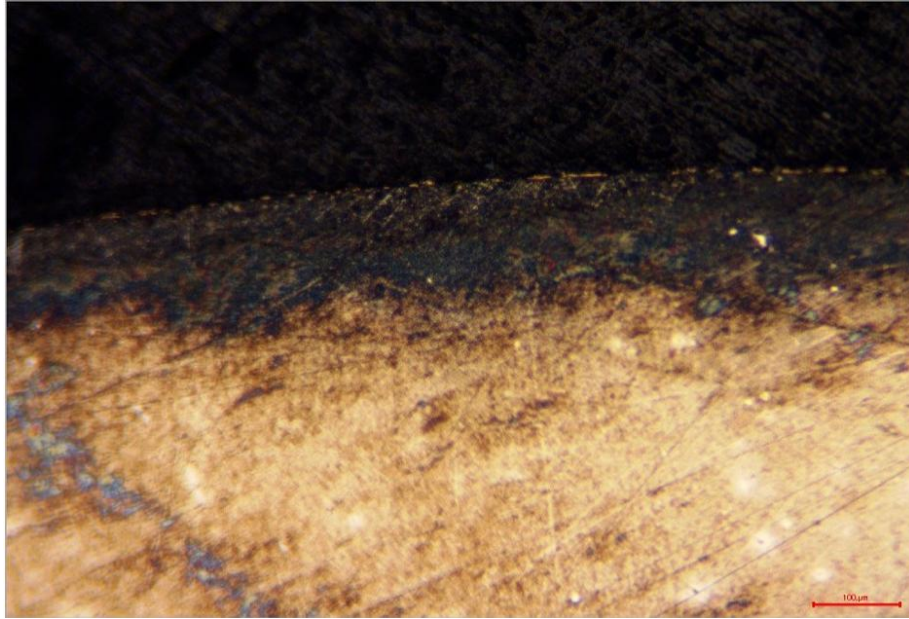
Şekil 6.a) Saf Numune Mikroyapı Görüntüsü

Saf numune görüntüsünde kaplama olmadığı için bir kaplama kalınlığı ölçümü yapılamadı. Yüzeyde çiziklerin olduğu görüldü.



Şekil 6.b) AlCrN Kaplamalı Numune Mikroyapı Görüntüsü

Kaplama kalınlığı 100 µm ölçek çubuğuna göre yaklaşık 7 – 9 µm olarak ölçülmektedir.



Şekil 6.c) TiN Kaplamalı Numune Mikroyapı Görüntüsü

Kaplama kalınlığı 100 µm ölçek çubuğuna göre yaklaşık 8 – 10 µm olarak ölçülmektedir.

2.5. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri kaplama kalınlıklarının çok düşük olması ve daha net sonuçlar alabilmek adına 2 farklı şekilde ölçülmüştür. 1. ölçümde 30 gr. kütle 15 sn uygulanarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. 2. ölçümde ise 50 gr. kütle 15 saniye uygulanarak sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 1’de 30 gr. kütle 15 saniye uygulanması sonucu elde edilen sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 1. 30 Gr. Kütle 15 Saniye Uygulama Sonucu Sertlik Ölçümler

NUMUNE ADI	UYGULANAN KÜTLE	UYGULANMA SÜRESİ	SERTLİK DEĞERİ
Saf Çelik	30 gr.	15 sn	261.5 HV
AlCrN Kaplanmış Çelik	30 gr.	15 sn	2540 HV
TiN Kaplanmış Çelik	30 gr.	15 sn	1454 HV

Tablo 2’de 50 gr. kütlenin 15 saniye uygulanması sonucu elde edilen sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 2. 50 Gr. Kütle 15 Saniye Uygulama Sonucu Sertlik Ölçümler

NUMUNE ADI	UYGULANAN KÜTLE	UYGULANMA SÜRESİ	SERTLİK DEĞERİ
Saf Çelik	50 gr.	15 sn	178.4 HV
AlCrN Kaplanmış Çelik	50 gr.	15 sn	2023.1 V
TiN Kaplanmış Çelik	50 gr.	15 sn	1161.4 HV

2.6. Korozyon Testi

Korozyon testi tuz sisi yöntemi ile yapılmıştır.

Şekil 7. a’da saf numuneye ait test sonucu görseli, Şekil 7. b’de AlCrN kaplamalı numuneye ait test sonucu görseli ve Şekil 7. c’de TiN kaplamalı numuneye ait test sonucu görseli verilmiştir.



a) Saf Numune

b) AlCrN Kaplamalı Numune

c) TiN Kaplamalı Numune

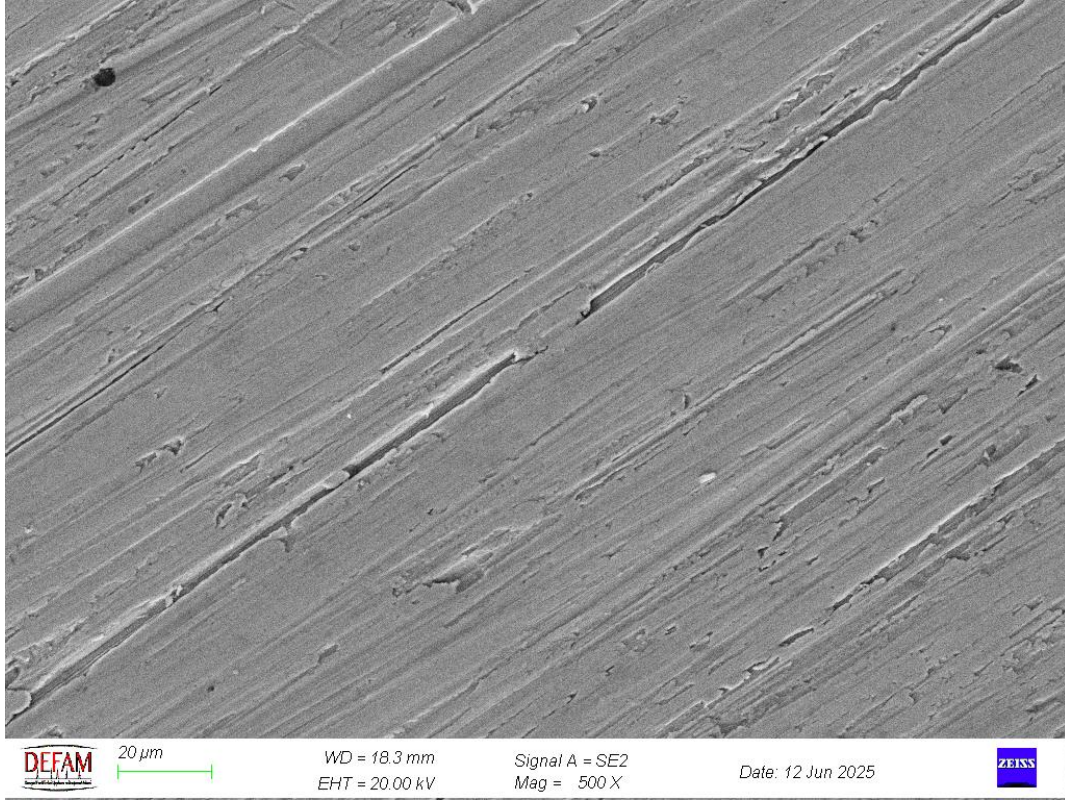
Şekil 7. Korozyon Testi Sonuç Görselleri

Yapılan korozyon testi sonucunda AlCrN ve TiN kaplanan numunelerin 48 saat sonra yüzeyinde pas gözlenirken, saf numunenin 24 saat sonra yüzeyinde pas gözlemlenmiştir.

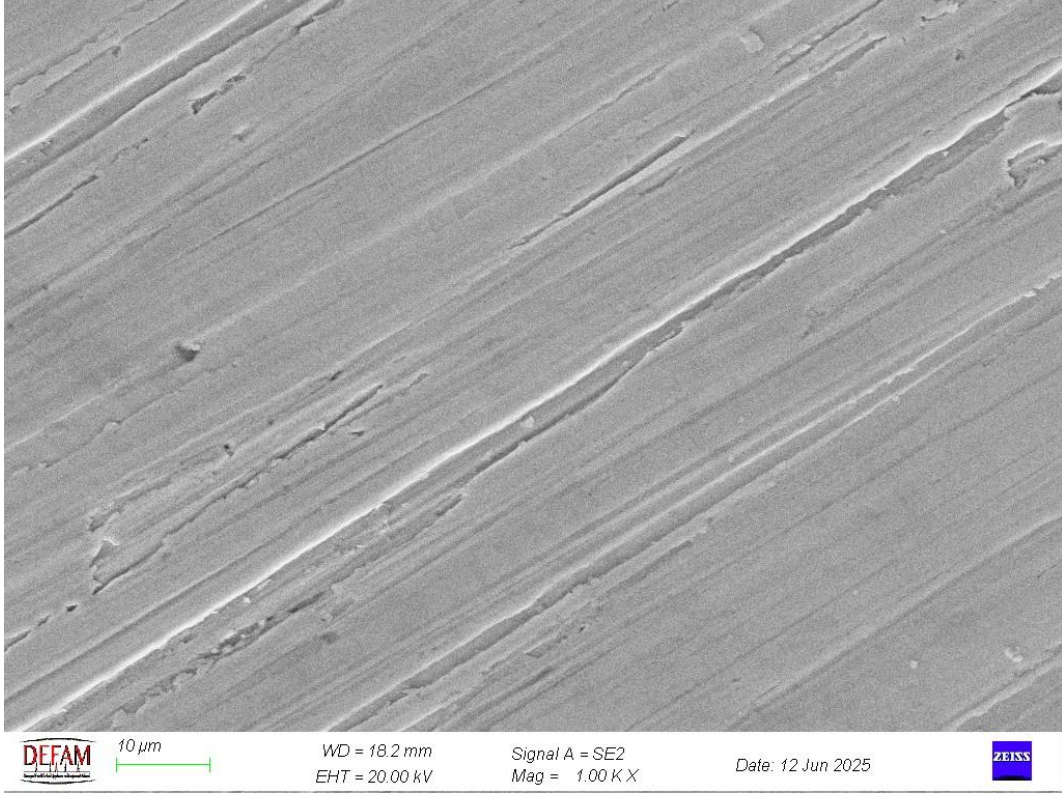
2.7. SEM Görüntüleme ve EDX Analizi

Yapılan SEM Görüntüleme işlemi sırasında yüzeylerden 500x ve 1000X büyütme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlem hakkında yorum yapılabilmesi için EDX Analizi ile sonuçlar desteklenmektedir.

Şekil 8.a'da saf numuneye ait 500x SEM görüntüsü ve Şekil 8.b'de saf numuneye ait 1000x SEM görüntüsü verilmiştir.

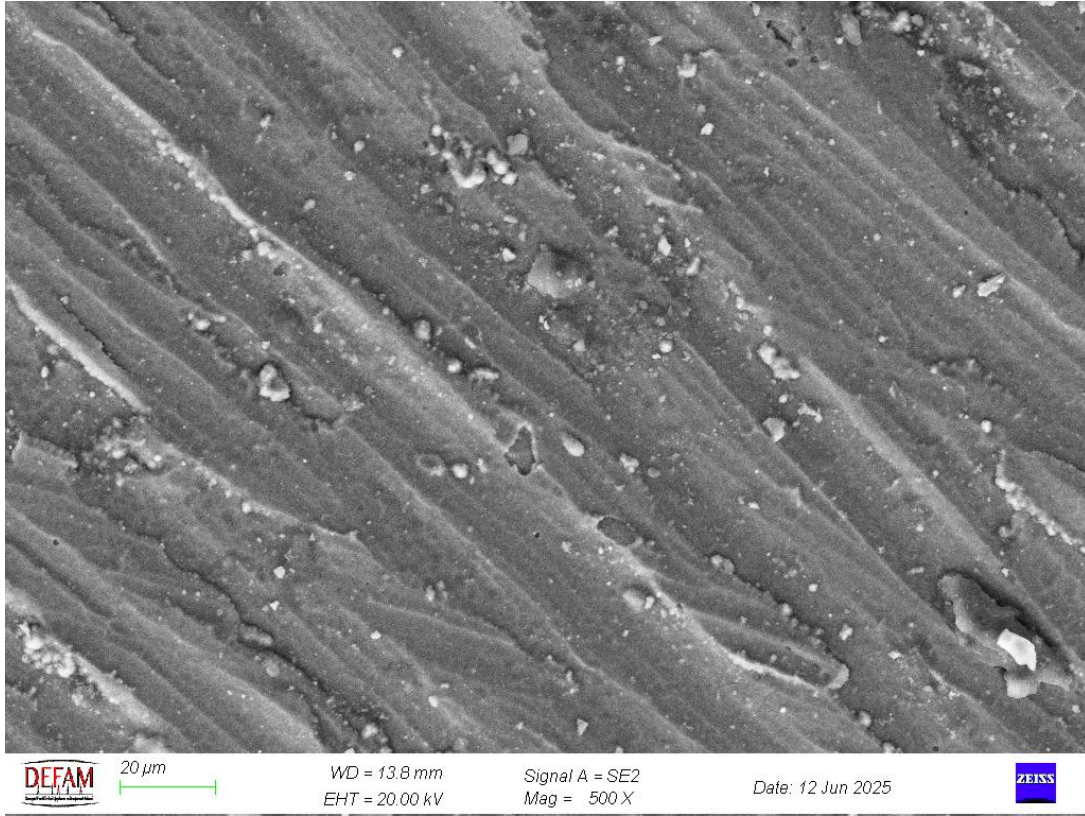


Şekil 8.a) Saf Numune SEM Görüntüsü (500X)

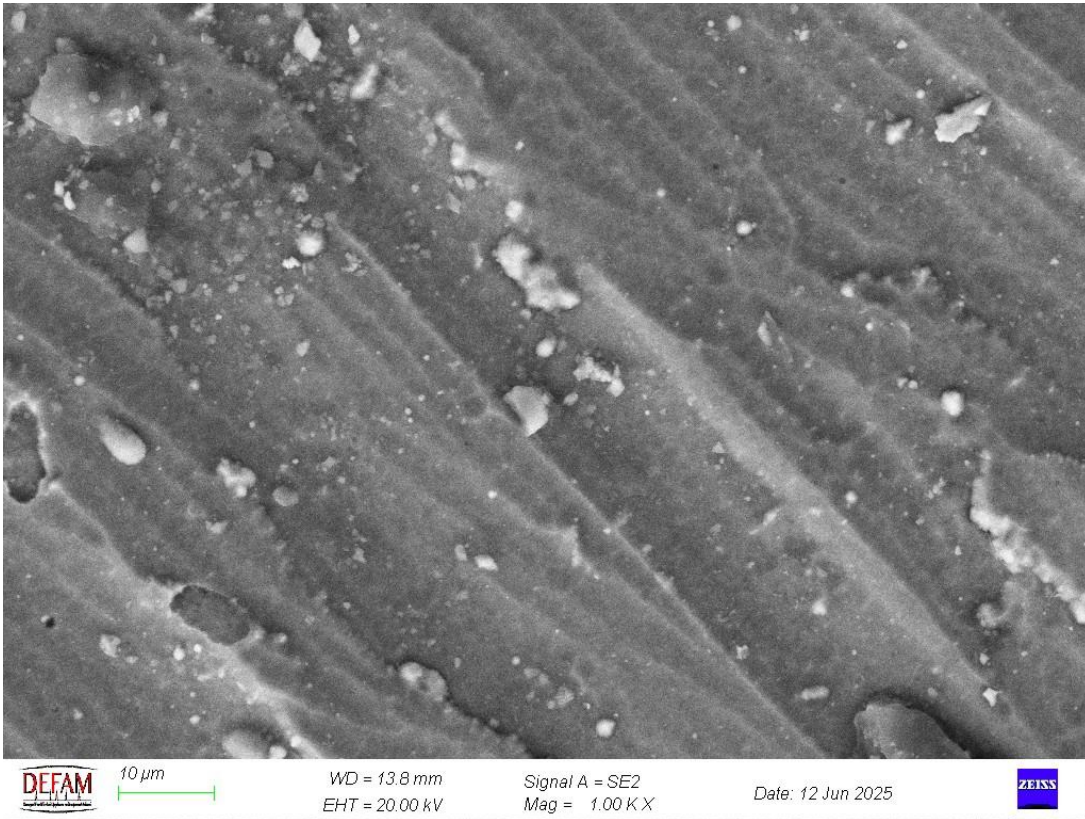


Şekil 8.b) Saf Numune SEM Görüntüsü (1000X)

Şekil 9.a’da AlCrN kaplamalı numuneye ait 500x SEM görüntüsü ve Şekil 9.b’de AlCrN kaplamalı numuneye ait 1000x SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 9.a) AlCrN Kaplamalı Numunenin SEM Görüntüsü (500X)



Şekil 9.b) AlCrN Kaplamalı Numunenin SEM Görüntüsü (1000X)

Şekil 10.a'da TiN kaplamalı numuneye ait 500x SEM görüntüsü ve Şekil 10.b'de TiN kaplamalı numuneye ait 1000x SEM görüntüsü verilmiştir.

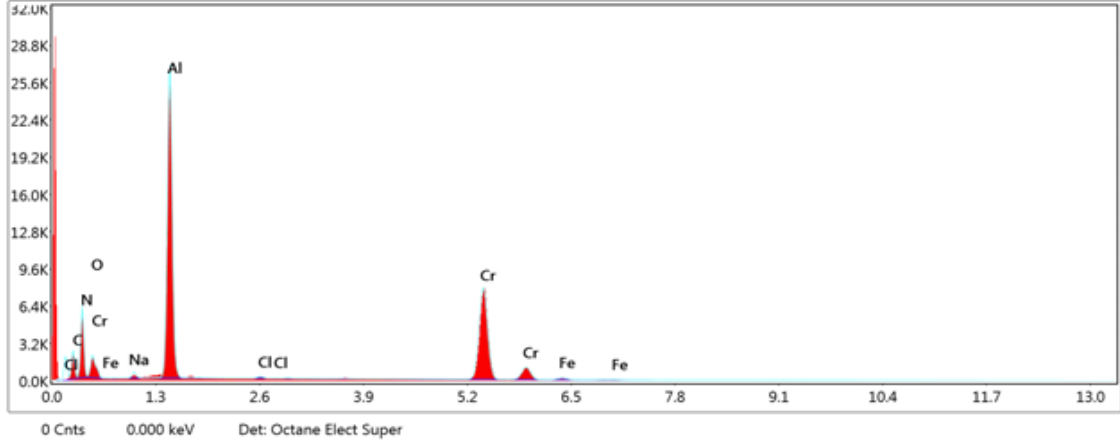


Şekil 10.a) TiN Kaplamalı Numunenin SEM Görüntüsü (500X)



Şekil 10.b) TiN Kaplamalı Numunenin SEM Görüntüsü (1000X)

Şekil 11’de AlCrN kaplamalı numuneye ait EDX analizi sonuçları verilmiştir.



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	13.35	23.20	559.08	10.20	0.0303	1.1295	0.2010	1.0000
N K	24.90	37.12	1519.63	9.65	0.0558	1.1049	0.2029	1.0000
O K	4.99	6.52	420.83	11.00	0.0095	1.0833	0.1755	1.0000
NaK	0.89	0.81	150.37	10.91	0.0030	0.9861	0.3441	1.0014
AlK	26.61	20.59	10111.50	4.76	0.1661	0.9669	0.6448	1.0016
ClK	0.22	0.13	74.14	15.79	0.0017	0.9220	0.8458	1.0128
CrK	28.12	11.29	5205.94	1.73	0.2405	0.8399	1.0048	1.0135
FeK	0.91	0.34	127.73	10.41	0.0075	0.8353	0.9615	1.0214

Şekil 11. AlCrN Kaplamalı Numune EDX Analizi

Element dağılımı:

Al (Alüminyum): %26,61 ağırlık, %20,59 atomik oran

Cr (Krom): %28,12 ağırlık, %11,29 atomik oran

N (Azot): %24,90 ağırlık, %37,12 atomik oran

C (Karbon): %13,35 ağırlık, %23,20 atomik oran

O (Oksijen): %4,99 ağırlık, %6,52 atomik oran

Na (Sodyum): %0,89 ağırlık

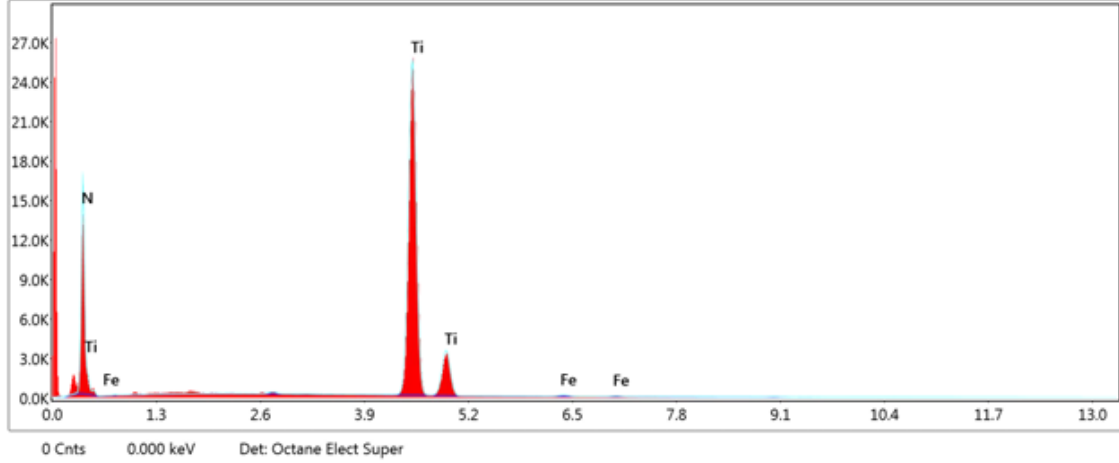
Cl (Klor): %0,22 ağırlık

Fe (Demir): %0,91 ağırlık

AlCrN kaplamada hedeflenen Al, Cr ve N varlığı net biçimde gözükmemektedir. Al ve Cr oranları kaplama açısından dengeli ve tipik bir AlCrN yapısına uygundur. N oranı yine yüksek, kaplamanın nitrid yapısını doğrulamaktadır. Karbon ve oksijen yüzeydeki kirlenme ya da oksidasyondan kaynaklanmakta olabilir.

Na, Cl ve Fe eser miktardadır. Yüzey kontaminasyonu veya cihazdan gelen artefakt olabilir.

Şekil 12’de TiN kaplamalı numuneye ait EDX analizi sonuçları verilmiştir.



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
N K	25.33	53.74	3782.90	5.49	0.1770	1.1953	0.5846	1.0000
TiK	73.94	45.87	15407.53	1.44	0.6904	0.9247	1.0082	1.0017
FeK	0.73	0.39	85.63	12.76	0.0062	0.9122	0.9194	1.0124

Şekil 12. TiN Kaplamalı Numune EDX Analizi

Element dağılımı:

Ti (Titanyum): %73,94 ağırlık, %45,87 atomik oran

N (Azot): %25,33 ağırlık, %53,74 atomik oran

Fe (Demir): %0,73 ağırlık, %0,39 atomik oran

Analiz, TiN kaplamanın başarılı bir şekilde uygulandığını gösteriyor. Beklendiği gibi titanyum ve azot ana bileşenler, atomik yüzde olarak azot biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Fe oranı eser miktarda ve ihmal edilebilir düzeyde (%0,73), yüzey kontaminasyonu veya cihazdan gelen artefakt olabilir.

3. SONUÇ

AlCrN ve TiN kaplamaların düşük alaşımlı çelik numuneler üzerindeki mekanik, mikroyapısal ve korozyon davranışlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Uygulanan kaplamaların, numunelerin performansını çeşitli açılardan belirgin biçimde iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Çekme testi sonuçlarına göre; TiN kaplamalı numune 30.42 kN, AlCrN kaplamalı numune ise 28.91 kN maksimum çekme kuvvetine ulaşarak, saf numunenin (22.69 kN) üzerinde bir dayanım sergilemiştir. Aynı zamanda, TiN kaplamalı numunenin 12.6 mm ile en yüksek uzama değerine ulaşması, kaplamanın sünek davranışa olan etkisini de ortaya koymaktadır. Bu bulgular, kaplamaların yalnızca yüzey sertliği değil, aynı zamanda mukavemet ve tokluk üzerinde de olumlu katkı sağladığını göstermektedir.

Basma testi verilerine göre, AlCrN kaplamalı numune 22.74 kN eğme dayanımı ile en yüksek değere ulaşmış; bu numuneyi TiN kaplamalı (18.85 kN) ve saf numune (15.52 kN) takip etmiştir. Bu sonuç, AlCrN kaplamanın eğilme direnci açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Sertlik ölçümleri, her iki kaplamanın da yüzey sertliğini çarpıcı biçimde artırdığını ortaya koymuştur. Özellikle AlCrN kaplamalı numunede elde edilen 2540 HV değeri (30 gr. yüklemeye), saf çeliğin 261.5 HV değerine kıyasla yaklaşık 10 kat artış göstermiştir. Bu durum, AlCrN kaplamanın yüksek sertlik ve aşınma direnci sağladığını açıkça ortaya koymaktadır. TiN kaplama ise 1454 HV ile AlCrN'e göre daha düşük, fakat yine de oldukça yüksek bir değer sunmuştur.

Korozyon testi sonuçlarına göre, kaplamalı numunelerde pas oluşumu 48 saat sonra gözlenirken, saf numunede bu durum 24 saat gibi kısa bir sürede meydana gelmiştir. Bu durum, her iki kaplamanın da korozyon dayanımını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu sonuç malzemenin kullanım ömrüne katkı sağlamaktadır.

Mikroyapı görüntülemeleri ve SEM/EDX analizleri de kaplamaların başarıyla uygulanmış olduğunu doğrulamıştır. AlCrN kaplamada Al, Cr ve N elementlerinin dengeli dağılımı, tipik bir AlCrN yapısına uygunluğu göstermekte; TiN kaplamada ise yüksek oranlı Ti ve N içeriği, kaplamanın yapısal bütünlüğünü teyit etmektedir. EDX analizinde tespit edilen düşük düzeydeki kontaminant elementler (Na, Cl, Fe), yüzeyden veya cihazdan kaynaklı olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde hem AlCrN hem de TiN kaplamaların yüzey özelliklerini, mekanik dayanımı ve korozyon direncini ciddi ölçüde artırdığı, ancak uygulamaya bağlı olarak AlCrN kaplamanın daha yüksek yüzey sertliği ve eğme dayanımı; TiN kaplamanın ise daha iyi çekme dayanımı ve süneklik sunduğu sonucuna varılmıştır. Bu yönüyle, her iki kaplamanın da farklı mühendislik uygulamalarına göre seçilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- "Climbing Dictionary & Glossary", <http://www.mountaindays.net/>, Archived from the original on 2007-01-03, Retrieved 2006-12-05.
- C.M. Bright, A History of Rock Climbing Gear Technology and Standards, Mechanical Engineering Undergraduate Honors Theses 41, University of Arkansas, Fayetteville, 2014.
- T. Evans, S. Truebe, A Review of Webbing Anchor Research, International Technical Rescue, Symposium, Portland, Oregon, 2015.
- G.B. Babut, R.I. Moraru, Quality - Access to Success 19(166) (2018) 133-144.
- S.H. Harrison, K.G. Corley, Organization Science 22(2) (2011) 391-412.
- D.P.B. Nergis, N. Cimpoesu, P. Vizureanu, C. Baci, C. Bejinariu, Tribological characterization of phosphate conversion coating and rubber paint coating deposited on carbon steel carabiners surfaces, Mater. Today: Proc. 19 (2019) 969-978,
- J Statham MSc, B Roebuck BSc., HSL/2003/18 - Karabiner Safety in the Arboriculture Industry, Health and Safety Laboratory, Sheffield, 2003.
- D.P. Burduhos-Nergis, C. Nejneru, R. Cimpoesu, A.M. Cazac, C. Baci, D.C. Darabont, C. Bejinariu, Quality Access to Success 20(1) (2019) 77-82.
- Burduhos-Nergis, D.P.; Vizureanu, P.; Sandu, A.V.; Bejinariu, C. Phosphate Surface Treatment for Improving the Corrosion Resistance of the C45 Carbon Steel Used in Carabiners Manufacturing. Materials 2020, 13, 3410.
- <https://dogukancelikhalat.com/urun/celik-karabinalar.html>
- [Aytaç, A. & Malayoğlu, U. (2018). Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemlerinden PVD ve JVD/DVD İnce Film Kaplamaların Karşılaştırılması ve DVD Kaplama Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamaları Üzerine Kavramsal, Akademik ve Teorik Bir Analiz. Savunma Bilimleri Dergisi, 17 (1), 131-164. DOI: 10.17134/khosbd.427054

PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME İLE OTONOM DRON UÇUŞU VE GÖREV PLANLAMASI: HEDEFLERE ULAŞMA VE ENGELLERİ AŞMA STRATEJİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Abdulnasır UĞURLU

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği
anasirugurlu@gmail.com, ORCID:0009-0004-5616-2962

Doç. Dr. Gonca Özmen KOCA

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
gonca.ozmen@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1750-8479

Özet

Son yıllarda İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), özellikle görev planlaması ve otonom navigasyon konularında geniş araştırmalara konu olmuştur. Bu çalışma, pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning, RL) algoritmaları kullanılarak dron 'ların otonom uçuş ve görev planlama yeteneklerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Son yıllarda hem sivil hem de askeri alanlarda yaygınlaşan dronlar, karar destek sistemlerine olan ihtiyaç doğrultusunda, otonomi düzeylerini artırarak insan müdahalesini en aza indirmeyi öngörmektedir. Hedef, değişken çevresel koşullar altında hedeflere ulaşma ve engelleri aşma stratejilerinin öğrenilmesini sağlamaktır. Çalışmada, temel RL algoritmalarından Q-learning ve D (Deep Q-Learning) kullanılarak, farklı hedef koordinatlarına ve görev senaryolarına sahip bir dron simülasyonu geliştirilmiştir. MATLAB ve Simulink ortamında gerçekleştirilen simülasyonlar, Z-ekseni hareketi, üç eksenli (X, Y, Z) rota takibi ve çok aşamalı hedef geçişlerini içermektedir. Dron 'un öğrenme süreci, epsilon-greedy keşif stratejisi ve ödül fonksiyonları ile yönlendirilmiştir. Q-tablosu güncellemeleri, toplam ödül değerleri, başarı oranları ve öğrenme eğrileri ile değerlendirme yapılmıştır. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar, öğrenme sürecinde belirgin bir başarı eğilimi olduğunu göstermektedir. İlk epizodlarda düşük ödül değerleri gözlemlenmiş, ancak zamanla ödüllerde artış meydana gelmiştir. Epsilon değeri azaldıkça, dronun daha kararlı ve sömürüye dayalı (yani öğrendiklerini uygulayan) davranışlar sergilediği görülmüştür. Özellikle son epizodlarda, dronun hedefe ulaşma oranı %90'ın üzerine çıkmış, toplam adım sayısı ise belirgin şekilde azalmıştır. Z ekseninde yapılan dikey hareketler en başarılı öğrenilen örüntüler olurken, Y eksenindeki karmaşık yön değişiklikleri öğrenme sürecini zorlaştırmıştır. Bu durum, dronun özellikle yatay düzlemdeki karmaşık çevresel etkileşimleri tanıma sürecinin daha uzun sürdüğünü göstermektedir. Bununla birlikte, görsel animasyonlar ve ödül grafikleri ile sistemin başarı trendi açık şekilde ortaya konulmuştur. Bu çalışmada geliştirilen sistem, otonom dron görev planlamasında pekiştirmeli öğrenmenin uygulanabilirliğini ve etkinliğini açıkça ortaya koymuştur. RL algoritmaları, dronların belirsizlik ve değişkenliğin yüksek olduğu ortamlarda bile etkili kararlar almasını sağlayarak insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltmaktadır. Ayrıca, bu yöntemlerle öğrenilen stratejilerin farklı görevlerde yeniden kullanılabilirliği, algoritmaların sürdürülebilirliğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda gerçek zamanlı uygulamalar, çoklu dron sistemleri ve derin öğrenme tabanlı gelişmiş yapılarla entegrasyon hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pekiştirmeli öğrenme, Otonom dron, Görev planlama, Q-learning, DQL, Simülasyon

GİRİŞ

Son yıllarda, yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanındaki hızlı gelişmeler, otonom sistemlerin tasarımında köklü değişikliklere yol açmıştır. Özellikle, çevresel değişkenliklere karşı esneklik gösteren ve denetimsiz öğrenmeye dayalı karar mekanizmaları geliştiren algoritmalar, mühendislik uygulamalarında önemli bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Bu dönüşümün merkezinde yer alan pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning – RL), ajan-temelli sistemlerde deneme-yanılma yaklaşımı ile optimal karar stratejilerinin öğrenilmesini sağlaması nedeniyle, kontrol sistemleri ve robotik uygulamalarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Pekiştirmeli öğrenme, etkileşimli çevrelerde ajanların uzun vadeli ödülleri maksimize edecek şekilde davranış politikaları geliştirmelerine olanak

tanımlanmaktadır. Zhu ve diğerleri yaptıkları çalışmada, pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinin insansız hava araçları (UAV'ler) için yol takip uygulamalarında nasıl kullanılabileceğini incelemektedir. Pekiştirmeli öğrenme algoritmalarının quadrotor tipi dronların aerobatik hareketlerini nasıl öğrenebileceğini göstermektedir (Zhu, S., Miao, Y., & Wang, Z. (2019)). Raffin ve diğerleri drone'ların karmaşık hareketleri öğrenmesi konusunda örnekler sunar. Bu özellik, özellikle sabit olmayan, öngörülemez ve dinamik ortamlarda görev yapan otonom sistemler için büyük avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, insansız hava araçları (İHA'lar) ya da yaygın bilinen adıyla dron'lar, pekiştirmeli öğrenmenin en etkin şekilde uygulandığı platformlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Raffin, A., Alliot, J. M., & Charpillet, F. (2013)). Dronlar, sahip oldukları esnek hareket kabiliyeti, yüksek manevra yeteneği, gelişmiş sensör sistemleri ve çeşitli görev profillerine adapte olabilmeye potansiyeli ile pek çok sektörde aktif olarak kullanılmaktadır. Arama-kurtarma operasyonlarından tarımsal veri analizine, askeri keşif görevlerinden kargo taşımacılığına kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan bu sistemler, özellikle otonom uçuş ve görev planlaması konularında yeni nesil öğrenme tabanlı yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Otonom bir dron sisteminin yalnızca önceden tanımlanmış görevleri yerine getirmesi yeterli değildir; aynı zamanda bilinmeyen engelleri tespit edebilmesi, çevresel değişikliklere tepki verebilmesi, rotasını dinamik olarak optimize edebilmesi ve tüm bu işlemleri gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmesi beklenmektedir. Bu doğrultuda, geleneksel kontrol yöntemlerinin sınırlılıkları dikkate alındığında, pekiştirmeli öğrenme algoritmaları, özellikle görev optimizasyonu ve engelleri aşma stratejilerinin öğrenilmesinde etkili çözümler sunmaktadır. RL algoritmaları, çevreden alınan geri bildirimlere (ödül/ceza) dayanarak ajanların çevreyle olan etkileşimini modellemekte ve zamanla en uygun eylem dizilerini öğrenmelerini sağlamaktadır. Bu sayede, dronlar sabit rotalarla sınırlı kalmadan çevresel koşullara göre karar verebilmekte, rotalarını revize edebilmekte ve hedefe ulaşırken en az risk içeren yolları tercih edebilmektedir. Mishra ve diğerleri pekiştirmeli öğrenme temelli algoritmalar genel anlamda iki temel dengeye odaklanmaktadır, keşif (exploration) ve sömürü (exploitation). Keşif, ajanların bilinmeyen durumları deneyimleyerek çevre hakkında yeni bilgiler edinmesini; sömürü ise daha önce elde edilen bilgiler doğrultusunda en yüksek ödülü sağlayacak eylemleri seçmesini ifade eder (Mishra, A., Singh, V. P., & Sharma, S. K. (2020)). Bu iki dinamik arasındaki denge, öğrenme sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Otonom bir dron sisteminde, bu dengeyi kurmak özellikle önemlidir çünkü çevresel koşullar sürekli olarak değişebilmekte, görev gereksinimleri anlık olarak farklılaşabilmektedir (Sun, Y., & Deng, Y. (2019)). Bu nedenle, RL algoritmalarının tasarımı sırasında öğrenme oranı (learning rate), indirgeme faktörü (discount factor), epsilon-greedy stratejisi gibi parametrelerin hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, yukarıda özetlenen bağlam doğrultusunda, pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir otonom dron kontrol sistemi tasarlamayı ve farklı çevresel senaryolarda bu sistemin görev başarımını değerlendirmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın temel amacı, birden fazla hedef noktasına ulaşması gereken ve yol boyunca çeşitli engellerle karşılaşan bir dronun, RL algoritmaları aracılığıyla en uygun uçuş ve görev planlamasını öğrenmesini sağlamaktır (Lillicrap & Wierstra, D. (2016)). Bu amaç doğrultusunda, dronun üç boyutlu bir ortamda hareket edebilmesi, rotasını takip edebilmesi ve nihayetinde görevlerini yüksek başarı oranıyla yerine getirebilmesi beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritmalar hem MATLAB hem de MATLAB Simulink ortamında modellenmiş ve test edilmiştir. Farklı hedef koordinatlarına sahip uçuş senaryoları tanımlanarak, her bir durumda dronun RL algoritması ile nasıl karar verdiği analiz edilmiş, öğrenme eğrileri ve ödül grafikleri üzerinden performans değerlendirmesi yapılmıştır. Öğrenme sürecinde karşılaşılan zorluklar, parametre optimizasyonları, ödül fonksiyonu tasarımları ve algoritma etkinlikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar istatistiksel testlerle karşılaştırılarak literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanmış, önerilen yöntemin başarımı ortaya konmuştur. Pekiştirmeli öğrenme ile kontrol edilen bir dron sisteminin sadece akademik bir başarı değil, aynı zamanda pratik uygulamalarda da yüksek potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Bu sistemler, örneğin afet bölgelerinde haritalama, riskli alanlara müdahale, keşif-gözetim görevleri gibi insan müdahalesinin zor olduğu koşullarda büyük bir avantaj sağlayabilir. Aynı şekilde, tarımsal uygulamalarda verimlilik analizi, ilaçlama veya sulama gibi görevlerin otonom olarak yerine getirilmesinde de bu tür algoritmaların uygulanabilirliği oldukça yüksektir. Sonuç olarak, bu çalışmayla, pekiştirmeli öğrenmenin otonom hava araçları üzerindeki uygulamaları için özgün bir yaklaşım sunulmakta, görev planlaması ve engel aşma stratejilerinin geliştirilmesine yönelik olarak yeni bir çözüm önerilmektedir. Elde edilen bulgular, yalnızca akademik alanda değil, aynı zamanda sanayi ve savunma teknolojilerinde de ileriye dönük uygulamalar için bir temel oluşturacak niteliktedir. Özellikle

otonom sistemlerin gelecekte daha akıllı, adaptif ve güvenilir hale gelmesi için pekiştirmeli öğrenme temelli modellerin daha yaygın ve etkili biçimde kullanılması kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmektedir.

1. DRON MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Dron gibi yapılar bir kontrolcü tarafından kontrol edilmediği sürece kararsız yapıda bulunan uçan robotlardır (Abbeel, P., & Ng, A. Y. (2004). Bu yapıları kontrol etmek için PID, Pekiştirmeli öğrenme vb. gibi birçok yöntem mevcuttur. Bu mevcut yöntemleri kullanabilmek için, sistemin bir matematiksel modeli elde edilmelidir. Bir dron 'un hareketini anlamak için genellikle Newton'un ikinci yasasını (kuvvet, kütle ve ivme arasındaki ilişkiyi ifade eden yasa) ve Euler açısal kinematik denklemlerini (açısal hız, açısal ivme ve açı arasındaki ilişkiyi ifade eden denklemler) içeren diferansiyel denklemler kullanılır. Genel bir dron modeli, iki ana kısımdan oluşur: translasyon (konum ve hız) ve rotasyon (açısal durum ve hız).

1.1. Kinematik Model

a) Translasyon (Konum ve Hız) Modeli

Dronun translasyon hareketini tanımlamak için Newton'un ikinci yasasını kullanabiliriz.

$$F_{net} = m \times a \quad (1)$$

F_{net} , m , a , sırasıyla Denklem (1) toplam kuvveti, kütle ve ivmeyi temsil eder. Dron 'un ivmesi, motorlardan gelen itme kuvveti ile yer çekimi kuvveti arasındaki farktan elde edilir.

$$a = T - m \times g \quad (2)$$

T , g sırasıyla toplam itme kuvvetini, yer çekimi ivmesini temsil eder.

Bu diferansiyel denklemler, bir kontrol sistemi tarafından sağlanan itme kuvvetine ve yer çekimi ivmesine bağlı olarak dron 'un konumunu ve hızını günceller. Dron 'un kinematik modeli, konum ve hızını açıklar. Genellikle, konum ve hız vektörleri kullanılarak aşağıdaki Denklem (3) ve (4) ile ifade edilir;

Konum Denklemi

$$p(t+1) = p(t) + \int_t^{t+1} v(t) dt \quad (3)$$

Hız Denklemi

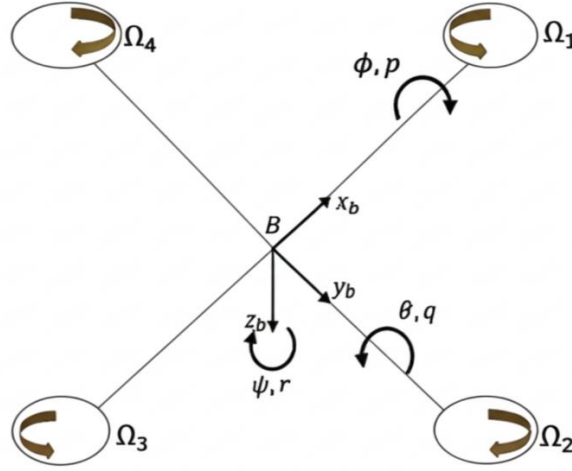
$$v(t+1) = v(t) + \int_t^{t+1} a(t) d\tau \quad (4)$$

$p(t)$, $v(t)$, $a(t)$, sırasıyla dron 'un konumunu, hızını ve ivmesini temsil eder.

b) Rotasyon (Açısal Durum ve Açısal Hız) Modeli

Rotasyon matrisini oluştururken, yeryüzü koordinat sistemi ile dron koordinat sistemini dönüştürmemiz ve birbirleri ile ilişkilendirmemiz gerekir. Aksi takdirde doğru sonuçlar elde edemeyiz ve kontrolcümüz doğru şekilde çalışmaz.

Önce, birinci koordinat sistemindeki bir noktanın, ikinci koordinat sistemindeki koordinatlarını ifade eden genel formülü görelim. İlk koordinat sistemini A, ikinci koordinat sistemini B olarak adlandıralım ve P birinci koordinat sistemindeki bir nokta olsun. P noktasının A ve B sistemlerindeki koordinatları; Sırasıyla PA ve PB olsun. Şekil 1 de dron koordinat sistemi ile dünya koordinatı arasındaki dönüşüm gösterilmiştir.



Şekil 1. Dron gövdesi koordinatı ve referans dünya koordinatı

$$(P_B = T_{BA} * P_A) \quad (5)$$

$(T_{BA}), (P_A), (P_B)$ Sırasıyla dönüş ve çevirme matrisini, birinci koordinat sistemine ait noktanın koordinatlarını ve ikinci koordinat sistemine ait noktanın koordinatlarını ifade eder. Dönüş ve çevirme matrisi genellikle şu formülle ifade edilir:

$$(T_{BA} = R_{BA} * D_{BA}) \quad (6)$$

$(R_{BA}), (D_{BA}), (D_{BA})$ sırasıyla dönme matrisi, çevirme matrisi ve birinci koordinat sisteminden ikinci koordinat sistemine dönüşü ifade eden, yön kosinüs matrisidir.

Dönme matrisi (R_{BA}) , birinci koordinat sistemindeki x, y, z eksenlerini ikinci koordinat sistemine dönüştüren bir matristir. Çevirme matrisi (D_{BA}) , birinci koordinat sistemindeki orijin noktasını ikinci koordinat sistemine taşıyan bir matristir.

Dron 'un oryantasyonunu tanımlayan Euler açıları (ϕ, θ, ψ) bir cismin uzaydaki konumunu ve yönelimini belirlemek için kullanılır. Euler açıları, dron 'un roll, pitch ve yaw hareketlerini temsil eder. Burada p, q, r sırasıyla roll, pitch ve yaw hızlarını temsil eder. Euler açılarından Direction Cosine Matrix (DCM) oluşturmak için aşağıdaki adımları takip edebiliriz (Lyu, K., Xie, L., & Tian, Z. (2018)). İlk önce ϕ açısının $R(\phi, X)$ eksen etrafında dönmesiyle oluşan matrisi yazarız.

Roll (ϕ)

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix} \quad (7)$$

θ açısının $R(\theta, Y)$ eksen etrafında dönmesiyle oluşan matris

Pitch (θ)

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ψ açısının $R(\Psi, Z)$ eksen etrafında dönmesiyle oluşan matris.

YAW (ψ)

$$R_z(\psi) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Bu 7, 8 ve 9 matrisler sırayla çarpıldığında (örneğin $R = R_z(\psi) \cdot R_y(\theta) \cdot R_x(\phi)$), birinci sütun sağa yönlü (x eksenine paralel), ikinci sütun yukarı yönlü (y eksenine paralel), ve üçüncü sütun sola yönlü (z eksenine paralel) birim vektörleri içeren bir DCM elde edilir.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\sin\psi\cos\phi + \cos\psi\sin\theta\sin\phi & \cos\psi\sin\theta\cos\phi + \sin\psi\sin\phi \\ \sin\psi\cos\theta & \sin\psi\sin\theta\sin\phi + \cos\psi\cos\phi & \sin\psi\sin\theta\cos\phi - \sin\phi\cos\psi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \quad (11)$$

Dron 'un rotasyon hareketini tanımlamak için Euler açısal kinematik denklemlerini kullanabiliriz. Bu denklemler, açısal hızı ve açısal ivmeyi açısal duruma bağlar.

$$(\omega = J^{-1} * \tau) \quad (12)$$

$$(\omega = J^{-1} * \tau) - J^{-1} * \omega * (J * \omega) \quad (13)$$

Denklem (13) 'te ω , $\dot{\omega}$, J , τ , sırasıyla açısal hız vektörünü, açısal ivme vektörünü, inertia matrisini ve tork vektörünü temsil eder.

İnertia matrisi, bir cismin dönmeye karşı direncini tanımlayan bir matristir. İnertia matrisi, cismin dönme hareketi esnasında etkileşime giren kütleel özellikleri ifade eder ve genellikle bir nesnenin moment of inertia (dönme momenti) özelliklerini açıklar (Arulampalam, & Clapp, T. (2002).

Bir cismin hareketi, genellikle üç ana eksen etrafında gerçekleşir: x, y ve z eksenleri. Bu eksenler etrafında dönme hareketi sırasında, cismin her bir eksen için bir inertia (atılma) özelliği bulunur. İnertia matrisi, bu üç eksen için bu inertia özelliklerini bir araya getirir.

Roll Hızı (p), Pitch Hızı (q), Yaw Hızı (r) sırasıyla dron 'un x (roll) eksen etrafında döndüğü açısal hızı, y (pitch) eksen etrafında döndüğü açısal hızı ve z (yaw) eksen etrafında döndüğü açısal hızıdır.

Roll için

$$d\phi/dt = p + q * \sin(\Phi) * \tan(\theta) + r * \cos(\Phi) * \tan(\theta) \quad (14)$$

Pitch için

$$d\theta/dt = q * \cos(\phi) - r * \sin(\phi) \quad (15)$$

Yaw için

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{q * \sin(\phi) + r * \cos(\phi)}{\cos(\theta)} \quad (16)$$

DCM'nin her bir elemanı, bir eksenin diğerine olan yönlendirme oranını temsil eder. Bu oranlar, bir cismin bir sistemdeki yönelimini ifade eder.

Bu yöntem, Euler açılarından DCM oluşturma temel bir yoludur. Ancak, Euler açılarından DCM oluşturma konusu hassas bir konudur ve "gimbal lock" gibi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, alternatif yöntemler (örneğin, quaternion kullanımı) da düşünülmelidir, özellikle uzay araçları ve dron gibi sistemlerde (Chen, M., Shi, J., Cui, X., & Chu, X. (2018).

1.2. Dinamik Model

a) Atalet Matrisi

Quadcopter 'in atalet matrisini bulmak için, her rotorun momenti üzerindeki etkilerini içeren bir moment matrisi olan M ile her rotorun hızının etkilerini içeren bir hız matrisi olan J arasındaki ilişkiyi ele alacağız. J matrisi genellikle "rotor hızları" üzerinden ifade edilir ve bu matris ile rotor hızları arasındaki ilişkiyi sağlar.

$$(M = J * \dot{\omega}) \quad (17)$$

M, J, $\dot{\omega}$ Sırasıyla quadcopter 'in toplam atalet matrisi, rotor hızları ile atalet matrisi arasındaki matristir, rotor hızlarının değişimini temsil eder. Eğer (m_i) her rotorun kütlesini ve (d_i) her rotorun koldan ağırlık merkezine olan uzaklığını temsil ediyorsa, J matrisi şu şekilde ifade edilebilir;

$$J = \begin{bmatrix} \sum m_i d_i^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sum m_i d_i^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sum m_i d_i^4 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$J = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Bu matris, bir Quadcopter'in dönme hareketlerindeki ataletini temsil eder. J matrisi, Quadcopter'in fiziksel özelliklerine ve rotorların konumlarına bağlı olarak değişebilir.

$$(I_{xx}) = [1;1] \quad (20)$$

$$(I_{yy}) = [2;2] \quad (21)$$

$$(I_{zz}) = [3;3] \quad (22)$$

(I_{xx}), (I_{yy}), (I_{zz}), Bir dron gövdesinin ataletsel denklemleri olarak bulunur.

Motor momenti

$$M = K_m * \omega^2 \quad (23)$$

Bu Denklem (23), Quadcopter üzerindeki bir rotorun uyguladığı momenti ifade eder. M Quadcopter üzerindeki net momenti, K_m mrotor moment katsayısını, ω ise rotorun açısal hızını temsil eder.

Motor itki kuvveti ise Denklem (24) ile bulunur,

$$F = K_f * \omega^2 \quad (24)$$

Bu Denklem (24), Quadcopter üzerindeki bir rotorun uyguladığı itme kuvvetini ifade eder. F Quadcopter üzerindeki net itme kuvvetini, K_f rotor itme katsayısını, ω ise rotorun açısal hızını temsil eder. Verdiğimiz denklemler, bir rotorlu bir Quadcopter 'deki itme ve moment ilişkilerini ifade eden temel denklemlerdir. Bu denklemler aerodinamik katsayıları içeren bir modelden türetilmiştir. Bu denklemler, Quadcopter dinamik modelleme ve kontrol tasarımı süreçlerinde kullanılır (Lai, M., Kuo, C. H., & Fu, L. C. (2017). Buradaki K_m ve K_f katsayıları, rotor ve pervane tasarımı ile ilgili aerodinamik özellikleri yansıtan parametrelerdir. Bu katsayılar, Quadcopter'in spesifik tasarımına ve kullanılan ekipmana bağlı olarak değişebilir.

Dron 'un her eksenindeki açısal ivmeleri Denklem (25), (26) ve (27) de görülmektedir.

$$\ddot{\phi} = (K_f l (-\omega_1^2 + \omega_3^2)) / I_{xx} \quad (25)$$

$$\ddot{\theta} = (K_f l (-\omega_2^2 + \omega_4^2)) / I_{yy} \quad (26)$$

$$\ddot{\psi} = (K_m (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2)) / I_{zz} \quad (27)$$

b) İlerleme Dinamiği

X, Y, Z eksenlerindeki ilerleme newton yasasının ilerleme denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Dronun X ve Y eksenlerinde dönme olmadığından sadece Z ekseninde ivmelenme vardır. Dron üzerindeki motorların Z ekseninde oluşturduğu kuvvetlerin toplamı, rotasyon matrisi ile çarpılarak Dünya düzlemindeki X, Y ve Z eksenlerindeki ilerlemeleri hesaplamak için kullanılır. Gerekli denklemler matriste yerine yazıldığı vakit Dönme ve İlerleme Denklemleri (28), (29), ve (30) elde edilir.

$$\ddot{x} = -U_1 (\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\theta) / m \quad (28)$$

$$\ddot{y} = -U_1 (\sin\phi \sin\psi \sin\theta + \cos\psi \sin\phi) / m \quad (29)$$

$$\ddot{z} = g - U_1 (\cos\phi \cos\theta) / m \quad (30)$$

2. PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME

Pekiştirmeli öğrenme, kökenleri çok eskilere dayanan ancak modern anlamda geliştirilen bir öğrenme paradigmasıdır. Bu alandaki temel kavramlar ve ilkeler, psikoloji, nörobilim ve kontrol teorisi gibi farklı disiplinlerden etkilenmiştir. Pekiştirmeli öğrenme, özellikle davranışçılık hareketinin temel prensipleri ve bilim dünyasındaki çalışmaların bir sentezi olarak ortaya çıkmıştır. Pekiştirmeli öğrenmenin tarihsel evrimi içinde, özellikle 20. yüzyılın ilk yarısında, öğrenmeyi daha iyi anlama çabaları çerçevesinde çeşitli teoriler geliştirilmiştir. İlk dikkat çeken isimlerden biri, B.F. Skinner'dır. Skinner, davranışçılık perspektifiyle, organizmaların davranışlarının sonuçlarına bağlı olarak öğrendiğini savunmuştur. Bu, pekiştirmeli öğrenme teorisinin temelini atmıştır. Ancak, pekiştirmeli öğrenme modern anlamda özellikle yapay zekâ ve bilgisayar bilimleri alanında geliştirilmiştir. Bu alandaki en önemli kilometre taşlarından biri, 20. yüzyılın ikinci yarısında Richard S. Sutton ve Andrew G. Barto tarafından yazılan "Reinforcement Learning: An Introduction" adlı kitaptır. Bu kitap, pekiştirmeli öğrenmeyi bir disiplin haline getiren temel prensipleri ve algoritmaları tanıtmıştır. Pekiştirmeli öğrenmenin yöntemleri arasında çok sayıda algoritma bulunmaktadır. Q-öğrenme, Temporal Difference (TD) learning, Policy Gradient Methods gibi temel algoritmalar, ajanın çevresiyle etkileşimde bulunarak optimal stratejiler geliştirmesine olanak tanır (Lebedev, S., Nosov, V., & Myshkin, S. (2017)). Ayrıca, daha karmaşık ve derin ağlar kullanarak öğrenen Derin Pekiştirmeli Öğrenme (Deep Reinforcement Learning) yöntemleri de son yıllarda büyük ilgi görmektedir.

2.1 Pekiştirmeli Öğrenmenin Matematiksel İfadesi

Pekiştirmeli öğrenme problemini ifade eden temel matematiksel denklem Bellman denklemidir. Bu denklem genellikle durum değer fonksiyonu $V(s)$ veya durum-eylem değer fonksiyonu $Q(s, a)$ kullanılarak ifade edilir. Bellman denklemi, bir durumun değerini, o durumda alınabilecek eylemlerin değerleriyle ilişkilendirir (Mausam & Sehwaq, V. (2018)).

Durum değer fonksiyonu için Bellman Denklemi (31);

$$V(s) = R(s) + \gamma \cdot \sum_{s'} P(s' | s, a) \cdot V(s') \quad (31)$$

Durum-eylem değer fonksiyonu için Bellman Denklemi (32);

$$Q(s, a) = R(s, a) + \gamma \cdot \sum_{s'} P(s' | s, a) \cdot \max_{a'} Q(s', a') \quad (32)$$

$V(s)$ durum s 'nin değerini,

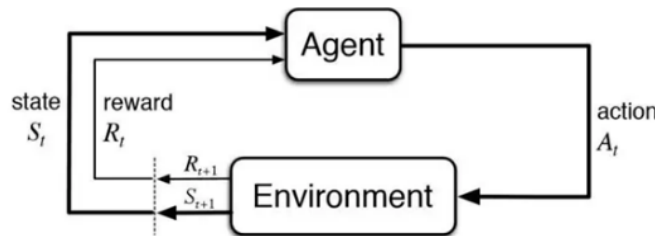
$Q(s, a)$ durum s 'de eylem a 'nın değerini,

$R(s)$ anlık durum ödülünü,

$P(s' | s, a)$ durum s 'den durum s' 'ye geçiş olasılığını,

γ indirgeme faktörünü (0 ile 1 arasında bir değer) temsil eder.

Bu denklemler, ajanın optimal stratejisini belirlemek için kullanılır. Bu strateji, durum değer fonksiyonu veya durum-eylem değer fonksiyonu üzerinden elde edilir. Bu genel yapı, pekiştirmeli öğrenmeyi çeşitli algoritmalar ve yöntemlerle çözülmeye açık hale getirir. Markov Karar Süreci (Markov Decision Process -MDP), belirsizlik içeren ortamlarda karar verme problemlerini modellemek için kullanılan matematiksel bir çerçevedir. Özellikle pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning) alanında temel bir yapı taşı oluşturur. Şekil 2'de MDP ile ilgili akış diyagramı mevcuttur.



Şekil 2. Markov Karar Süreci

3. DRONE'UN PROGRAMLANMASI VE SİMÜLASYONU

Programlama iki aşamadan oluşacaktır. Bu aşamalar kendi içinde dallara ayrılacaktır. Birinci aşamada dron $x=0, y=0, z=20$ 'yi deneyecek, ardından sırasıyla $z=20, x=10, y=10$, daha sonra sırayla $z=10, x=20$,

$y=10$, direk olarak noktasına gidecek. En son hedeflerini ve engelleri aşarak hedef noktaya ulaşacak. İkinci aşamada ise simüle edilip gerçek dünya verileri elde edilecektir.

3.1. Matlab Ortamında Programlanması

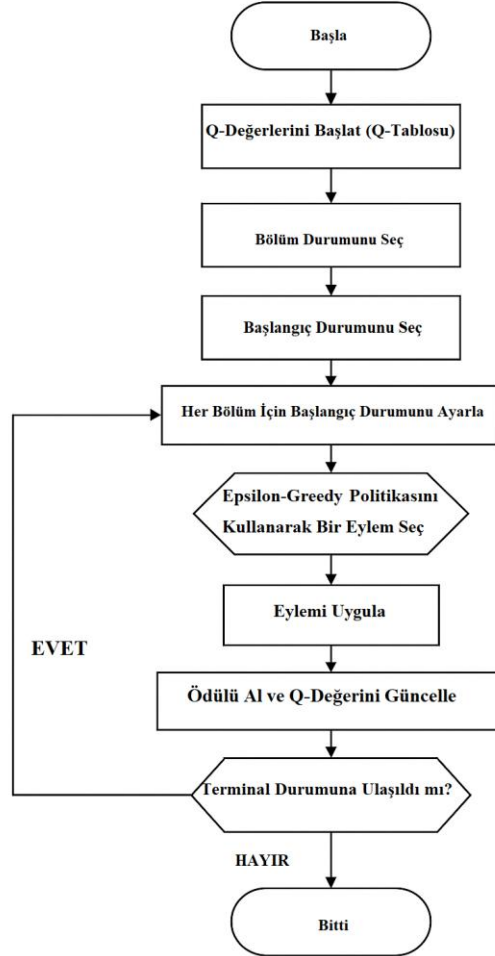
3.1.1. Genel Algoritma ve Akış Diyagramı

Bu çalışma, bir quadcopter (dron) modelinin Z eksenı boyunca hareketini simüle eden ve bu hareketi optimize etmek için Q-learning tabanlı bir pekiştirmeli öğrenme algoritması kullanır. Akış diyagramı Şekil 3'te yer almaktadır.

1. Q-Değerlerini Başlat (Q-Tablosu)
2. Başlangıç Durumunu Seç
3. Epsilon-Greedy Politikasını Kullanarak Bir Eylem Seç
4. Eylemi Uygula ve Yeni Durumu Gözlemle
5. Ödülü Al ve Q-Değerini Güncelle
6. Terminal Durumuna Ulaşıldı mı?
 - Evet → Episodu Sıfırla
 - Hayır → Yeni Durumdan Devam Et
7. Bitiş (Öğrenme Tamamlandı)

(33)

Q-Learning Algorithm



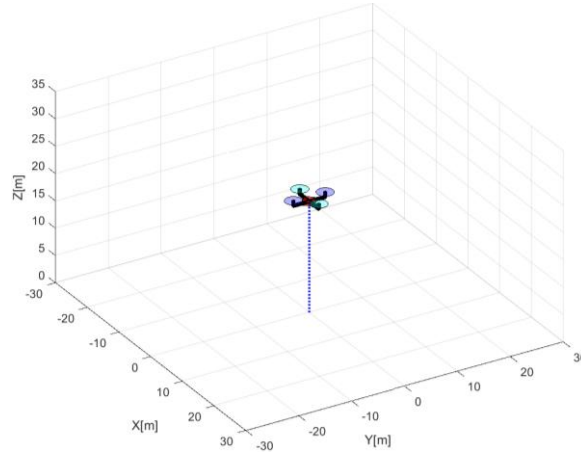
Şekil 3. Akış Diyagramı

3.1.2 Algoritmanın Çalışması

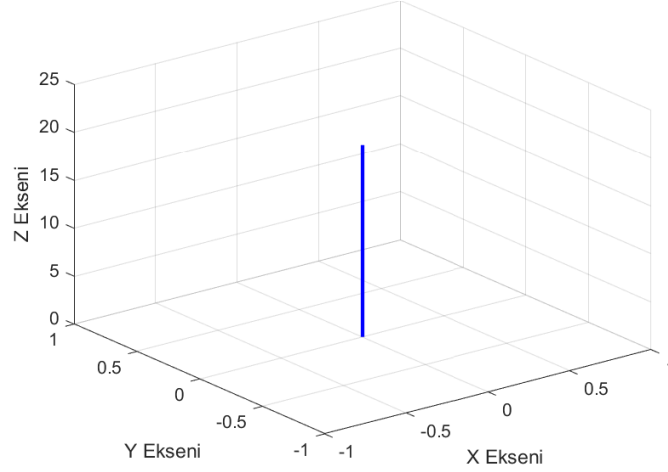
1. Dron Modelinin Tasarımı ve Görselleştirilmesi:
 - Dron 'un fiziksel yapısı (taban, motorlar, pervaneler) MATLAB'deki grafik araçlarıyla 3D olarak modellenir.
 - Dron 'un Z eksenı boyunca hareketi bir animasyonla görselleştirilir.
2. Hedef Tanımlama:
 - Dron 'un Z ekseninde 0 metreden 20 metreye yükselmesi hedeflenir.
 - Hedef rota doğrusal bir şekilde tanımlanır (0'dan 20'ye 100 adımda artış).
3. Q-Learning Algoritmasının Uygulanması:
 - Durum uzayı (state space): Z eksenindeki pozisyonlar (0-20 metre arası 41 durum).
 - Eylem uzayı (action space): Yukarı hareket (+0.2 m), aşağı hareket (-0.2 m), sabit kalma.
 - Q-tablosu: Durum-eylem çiftlerinin ödül tahminlerini saklar.
 - Epsilon-greedy politikası: Keşif (rastgele eylem) ve sömürü (en iyi eylem) dengesini sağlar.
 - Ödül fonksiyonu: Hedefe yaklaşmayı ödüllendirir, uzaklaşmayı ve ani hareketleri cezalandırır.
 - Q-tablosu güncelleme: Bellman denklemi ile öğrenme gerçekleştirilir.
4. Simülasyon ve Analiz:
 - 80 epizod boyunca öğrenme yapılır.
 - Her epizodda dron 'un Z konumu, ödüller, epsilon değerleri ve Q-tablosu kaydedilir.
 - Sonuçlar grafiksel olarak analiz edilir (ödül grafiğı, epsilon azalımı, Z hareketleri vb.).
5. Sonuçların Görselleştirilmesi:
 - Hedef rota ile öğrenilen rota karşılaştırılır.
 - Son epizodun 3D animasyonu gösterilir.

3.1.3. Başlangıç Koşulları ve Hedef Tanımlama

Simülasyon, dron 'un Z ekseninde 0 metreden 20 metreye yükselmesini hedefler Şekil 4'de 100 eşit adıma bölünerek doğrusal bir hedef rota (hedef_rota) oluşturulmuş Şekil 5 'de bu hareket 3 boyutlu olarak çizdirilmiştir. X ve Y eksenlerinde hareket sabit tutulmuş (sıfır), böylece algoritma yalnızca Z eksenindeki davranışı optimize etmeye odaklanmıştır. Yönelim açıları (roll, pitch, yaw) sıfır olarak ayarlanarak dron 'un yalnızca dikey hareketi analiz edilmiştir. Bu sadeleştirme, Q-learning algoritmasının performansını değerlendirmek ve karmaşık 3D hareketlerin etkisini ortadan kaldırmak için yapılmıştır.

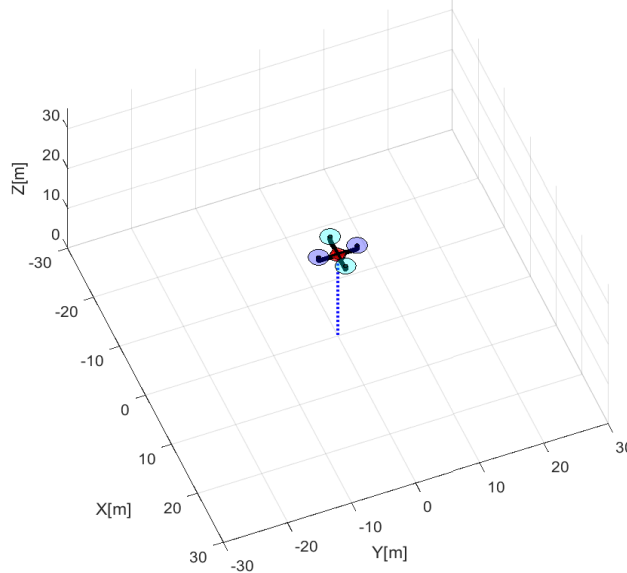


Şekil 4. Dron 0-20 hareket animasyonu

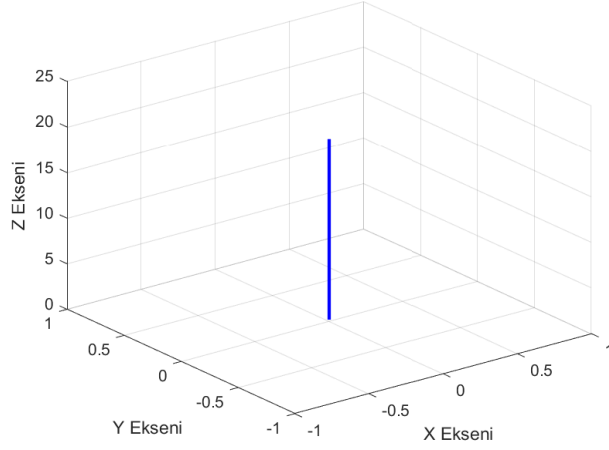


Şekil 5. Z Eksenini boyunca Hareket

Q-learning algoritması ile eğitilen dron 'un performansını değerlendirmek amacıyla çok yönlü görselleştirme teknikleri kullanılmıştır. Eğitim süreci boyunca elde edilen veriler hem öğrenme eğrisini hem de hedefe ulaşma başarısını analiz etmeye olanak sağlamıştır. Görselleştirmeler yapılmıştır. Her epizodun sonunda Q-learning algoritma sonucunda dron 'un Z eksenini Şekil 6' da rota boyunca izlediği yolu göstermektedir. Öğrenmenin ilk aşamalarında Şekil 12' de hareketler daha rastgele ve sapmalı iken, zamanla hedefe daha düzgün bir şekilde yönelme gözlenmektedir. Bu, Q-learning algoritmasının zamanla daha optimal politikalara yakınsadığını göstermektedir. Son epizotta elde edilen Z koordinatları kullanılarak X ve Y düzlemlerinde sabit, yalnızca Z ekseninde hareket eden bir 3B rota ortaya çıkmıştır. Böylece eğitim sonunda dron 'un Z eksenindeki genel hareket profili gözlemlenmiştir. Son epizodun sonunda elde edilen Z konumları kullanılarak Şekil 6 ve Şekil 7' de bir animasyon oluşturulmuştur. Bu animasyon, dron 'un Z eksenini boyunca yukarı-aşağı hareketlerini zaman içinde görsel olarak sunarak, algoritmanın başarısını somut bir biçimde gözler önüne sermektedir.

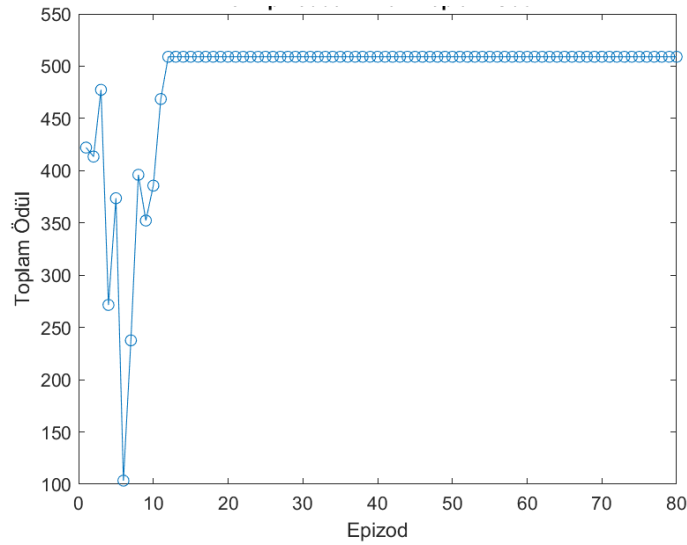


Şekil 6. Son Döngüde Dron Hareketi



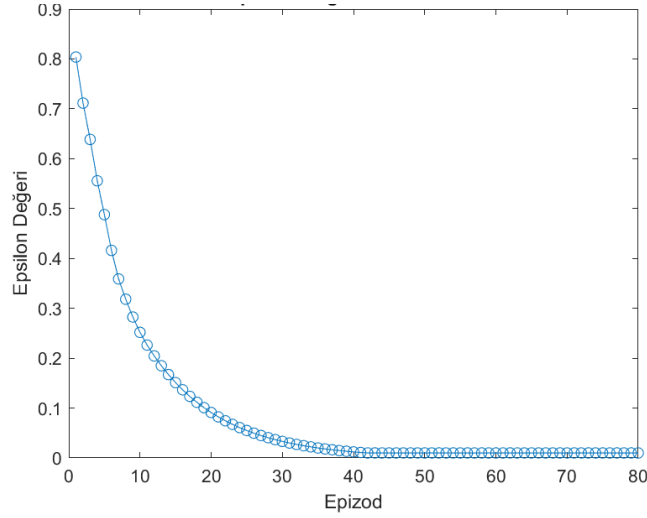
Şekil 7. Son Döngüde Dron Hareketi

Ödül grafiği Şekil 8’de, her epizodda alınan toplam ödül göstermektedir. Başlangıçta düşük olan toplam ödüller, zamanla artış göstermekte, bu da ajanın daha verimli eylemler seçmeye başladığını ortaya koymaktadır. Bu artış, öğrenme sürecinin başarıyla gerçekleştiğini gösteren önemli bir metriktir. Her epizotta elde edilen toplam ödül değerleri, eğitim sürecinin verimliliğini gözlemlemek amacıyla kaydedilmiştir. Bu ajan tarafından uygulanan eylemlerin zaman içinde hedefle ne kadar uyumlu olduğunu ortaya koyar. Öğrenme arttıkça, bu toplam ödüllerde artış gözlenmektedir.



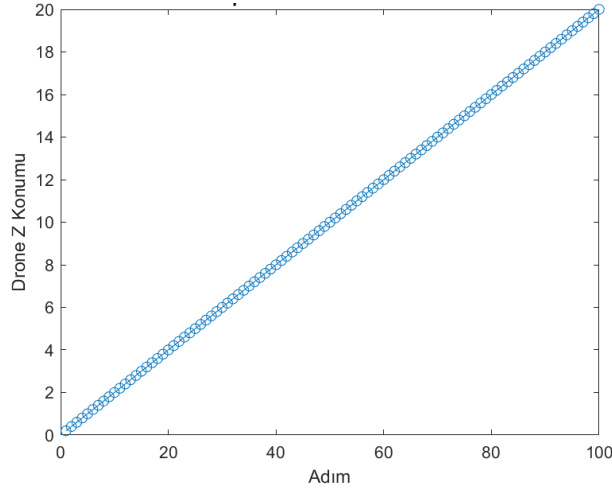
Şekil 81. Her Epizodda Alınan Toplam Ödül

Epsilon değerleri Şekil 9 ‘da grafik olarak gösterilirken, keşif oranı olan epsilon değerinin epizodlar boyunca nasıl azaldığını göstermektedir. Epsilon değerindeki bu azalma, öğrenme sürecinde ajan davranışının rastgelelikten çıkarak daha kararlı ve öğrenilmiş politikalara yöneldiğini ifade eder (Taheri, S., & Akbari, M. (2019). Keşif ve sömürü dengesini yöneten ϵ değerinin her epizotta azalması, Şekil 8’de grafikte sunulmuştur. Epsilon azaldıkça, ajan daha az rastgele eylem seçmeye başlar ve daha önce öğrendiği Q-değerlerine göre hareket eder.



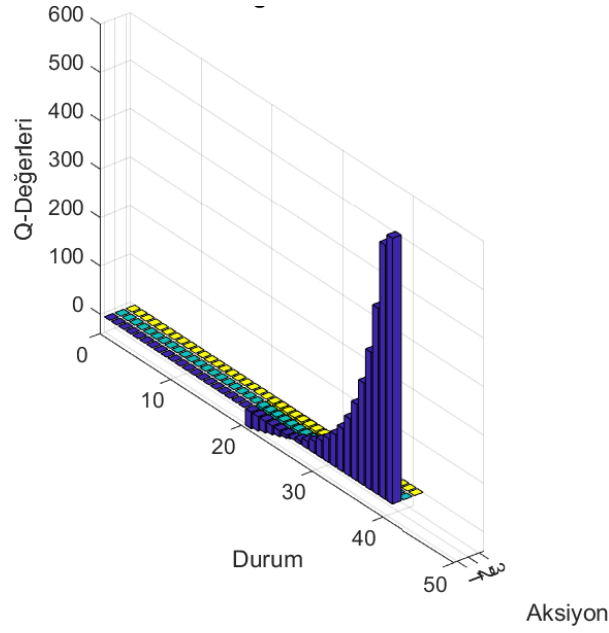
Şekil 9. Epsilon Değerinin Azalması

Şekil 10’da dron’ un son epizoddaki hareketi çizilmiştir. Bu grafiğe istinaden son harekette hatasız şekilde ilerlediği görülüyor.



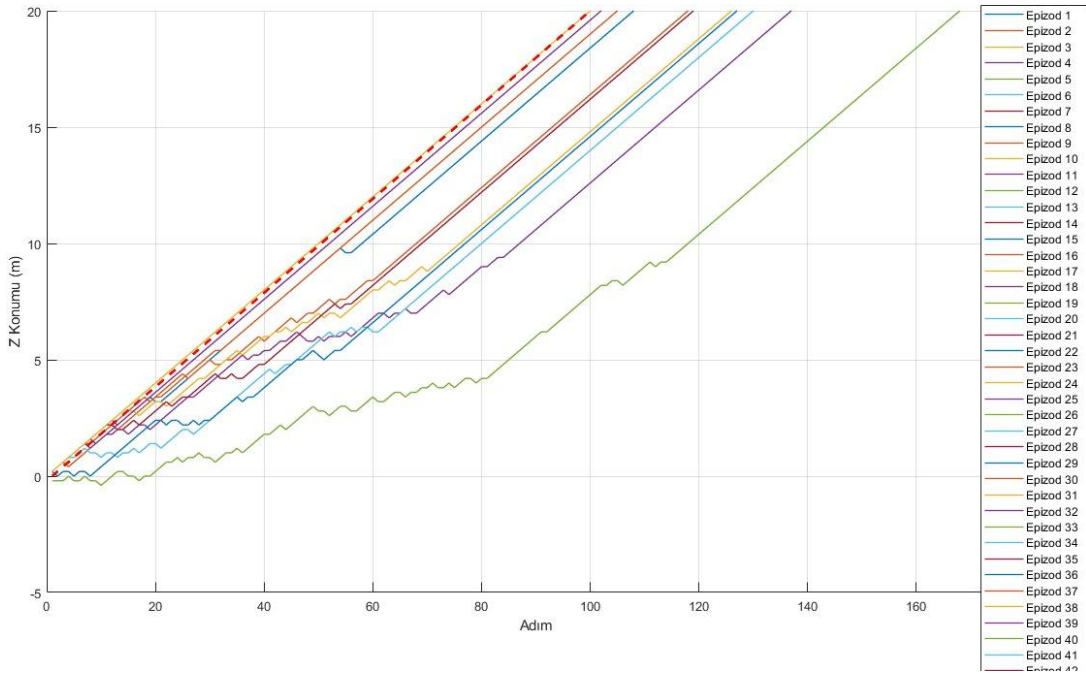
Şekil 10. Dron ‘un Son Z Hareketi

Yüksek Q-değerleri, belirli durumlarda hangi eylemin daha ödüllendirici olduğunu açıkça göstermektedir. Bu sayede, sistemin hangi aksiyonları tercih ettiğine dair çıkarım yapılabilir. Q-learning algoritmasının çıktısı olan Q-değer tablosu Şekil 11’de durum-eylem çiftleri için hesaplanan değerleri içerir. Bu değerler, bar3 fonksiyonu ile 3 boyutlu bir yüzey üzerinde görselleştirilmiş, ajan hangi durumda hangi aksiyonu daha çok tercih ettiğini açıkça göstermiştir.



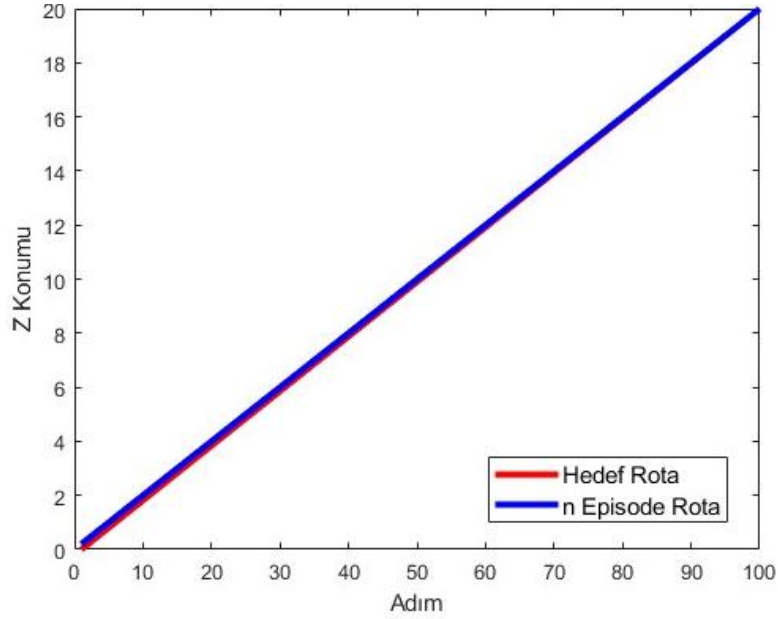
Şekil 11. Q Değer Tablosu

Şekil 12'deki grafik, her epizodda Z konumunda kaydedilen tüm hareketleri içermektedir. Kırmızı kesikli çizgi, referans (hedef) rotayı temsil ederken, diğer çizgiler ajan tarafından öğrenilen hareket rotalarını göstermektedir. Epizodlar ilerledikçe öğrenilen yolların referans rotaya yaklaştığı görülmektedir. Tüm epizotlara ait Z eksenı boyunca yapılan hareketler ayrı ayrı çizilerek, öğrenmenin zaman içindeki tutarlılığı ve hedefe yaklaşma eğilimi değerlendirilmiştir.



Şekil 122. Epizodlardaki Tüm Z Hareketi

Belirli bir epizod sırasında dron 'un takip ettiği rota ile önceden belirlenen hedef rota Şekil 13'de kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama, öğrenme sürecinin ne derece başarılı olduğunu grafiksel olarak sunar. n. epizodda dron 'un izlediği yol ile hedef rota Şekil 13 'de grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu karşılaştırma, sistemin hedef rotayı ne derece başarılı şekilde öğrenebildiğini ortaya koymaktadır. Aradaki fark zamanla azalmış, hedefe yakınsadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 133. Hedef rota ve n.Rota Karşılaştırılması

3.2. Matlab Simulink Ortamında Simülasyonu

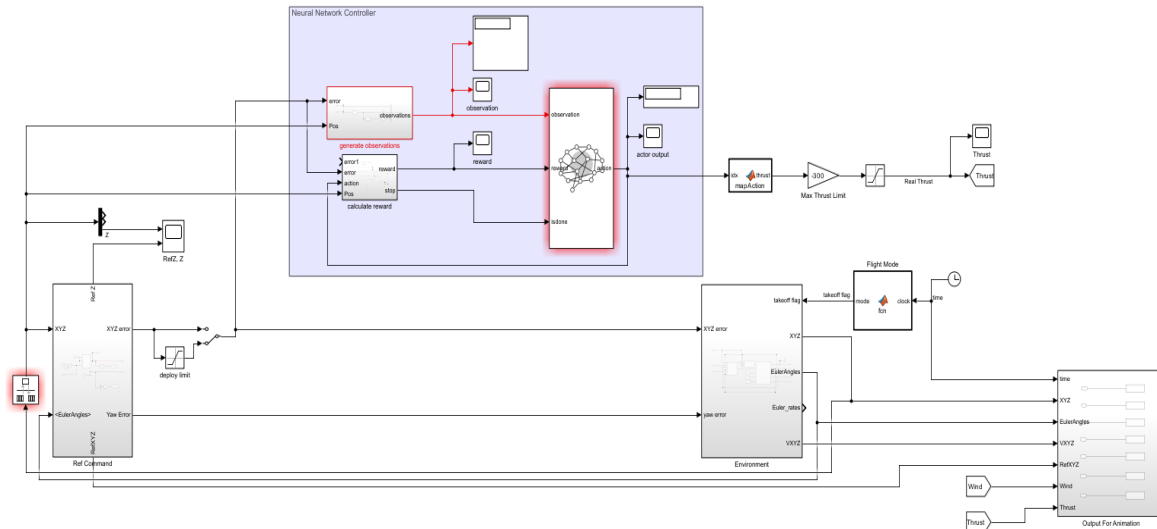
Bu çalışmada, bir Simulink modelinin detaylı analizi ve sistematik tasarımı ele alınarak, otonom sistemlerin hareket kontrolü ve dinamik davranışlarının simülasyonu üzerine kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

Model, karmaşık kontrol sistemlerinin gerçek dünya koşullarına uyum sağlanabilirliğinin test etmek ve optimize etmek amacıyla geliştirilmiş olup, özellikle pekiştirmeli öğrenme ve yapay sinir ağı tabanlı kontrol mekanizmalarının etkinliğini değerlendirmeyi hedeflemektedir.

Şekil 14 'de sunulan model, referans komutlarının (Ref. Command ve Ref. Z) çevresel girdilerle (örneğin rüzgâr hızı, Euler açıları ve yönlendirme parametreleri) entegre edilmesiyle başlayan bir süreçte, hata hesaplama birimlerinin (XY ve XYZ hataları) hassasiyetle işlenmesini içermektedir.

Bu hatalar, yapay sinir ağı kontrolörü tarafından işlenerek, sistemin gözlem verileri (observations) ve ödüllendirme mekanizmaları (reward) üzerinden optimize edilmiş bir eylem çıktısı (action output) üretilmektedir. Ardından, bu çıktı, maksimum itki sınırı (Max Thrust Limit) dikkate alınarak gerçek itki değerine (Real Thrust) dönüştürülmekte ve uçuş modu (Flight Mode) ile senkronize edilmektedir.

Modelin çevresel etkileşimleri, Euler açılarından türetilen veriler ve animasyon çıktıları (Output for Animation) ile desteklenerek, sistemin gerçek zamanlı performansının analizi çerçeveye oturtulmuştur. Bu çalışma, otonom sistemlerin kontrol teorisi ve simülasyon teknikleri açısından literatüre katkıda bulunmayı amaçlamakta, aynı zamanda gelecekteki araştırmalar için sağlam bir metodolojik temel sunmaktadır.



Şekil 14. Dron 'un Simülasyon Modeli

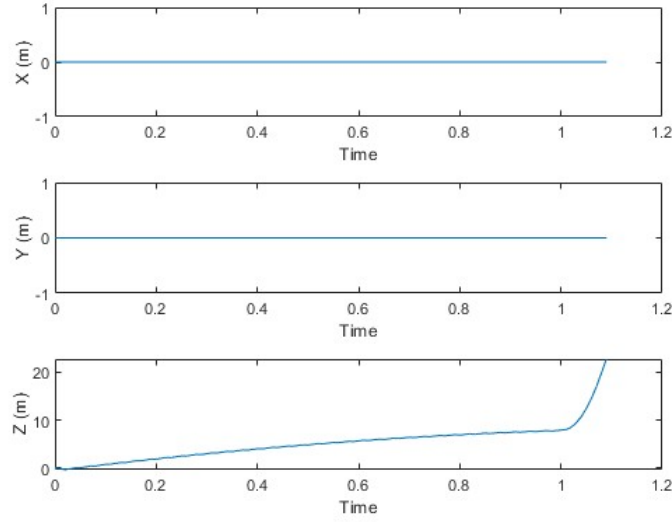
Simulink Modelin Sonuçları

Başlangıç koşullarının ve dron simülasyon boyunca gerçek dünya verileri ile koşturulması aşağıdaki Tablo 1 verileri ile sağlanmıştır.

Tablo 1. Dron Başlangıç Parametreleri

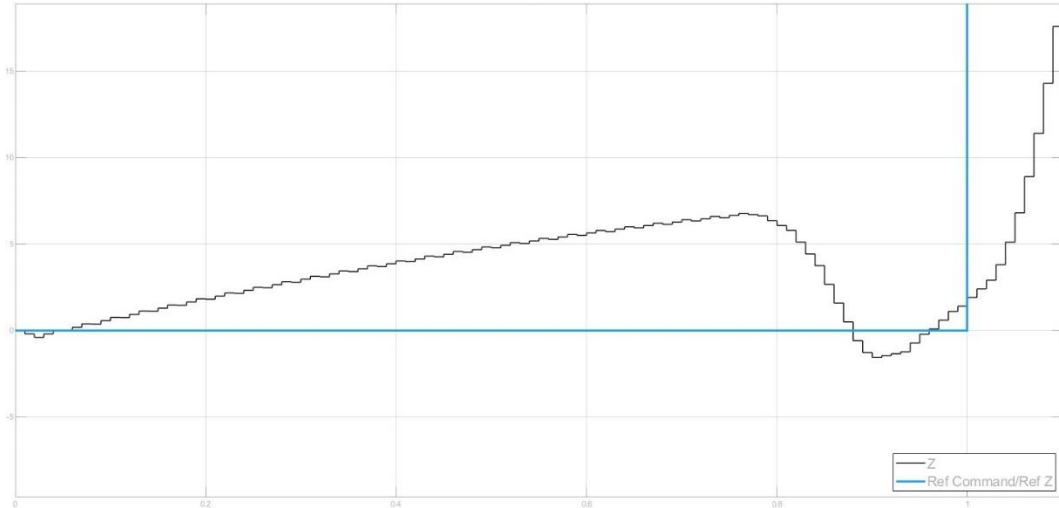
Açıklama	Parametreler	Birim	Değer
Kütle	m	kg	0.1
Yer Çekimi	g	m/s^2	-9.8
Örnekleme Zamanı	ts	0,211	0,721
Simülasyon Süresi	tf	0,199	1,108
Hedef Yükseklik	H	m	20
Rüzgâr	WindLevel	m/s	Rastgele
İtki Katsayısı	Thrust	Ns^2	-10,10
Yalpalama Ataleti	Ixx	kgm^2	0.1
Yunuslama Ataleti	Iyy	kgm^2	0.1
Sapma Ataleti	Izz	kgm^2	0.08

Bu parametrelere göre sonuçlar irdelenmiştir. Genel olarak, Şekil 15 ‘teki grafik, sistemin X ve Y eksenlerinde oldukça stabil bir performans sergilediğini, Z ekseninde dron daha kararlı şekilde hedefine yöneldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, kontrol sisteminin Z eksenindeki parametrelerinin uygun şekilde olduğu görüldü. Z pozisyonu, diğer eksenlere kıyasla daha belirgin bir yönelim davranışı sergiler. Başlangıçta 0 metre civarında olan Z pozisyonu, zaman ilerledikçe 20 metreye kadar yönelim yaptığı görülüyor. Z ekseninde azda olsa salınımlar, sistemin Z ekseninde daha fazla dinamik etkileşim yaşadığını ve kontrolörün bu ekseninde daha fazla düzeltme yapmaya çalıştığını gösterebilir. Dalgalanmaların periyodik yapısı, sistemin Z ekseninde bir tür titreşim veya dışsal bir etkiye (rüzgâr) maruz kaldığını düşündürülebilir. Şekil 16’da daha detaylı şekilde görülmektedir.



Şekil 154. Dron 'un x , y, z eksenleri boyunca hareketleri

Simulink ortamında gerçekleştirilen bir kontrol sistemine ait Z eksen (dikey eksen) çıkışının zamanla değişimini göstermektedir. Grafikte iki temel eğri yer almaktadır: siyah renkle gösterilen "Z" eğrisi sistemin gerçek zamanlı çıktısını, turuncu renkle gösterilen "Ref Command / Ref Z" eğrisi ise sistemin hedef ya da referans değerini temsil etmektedir.

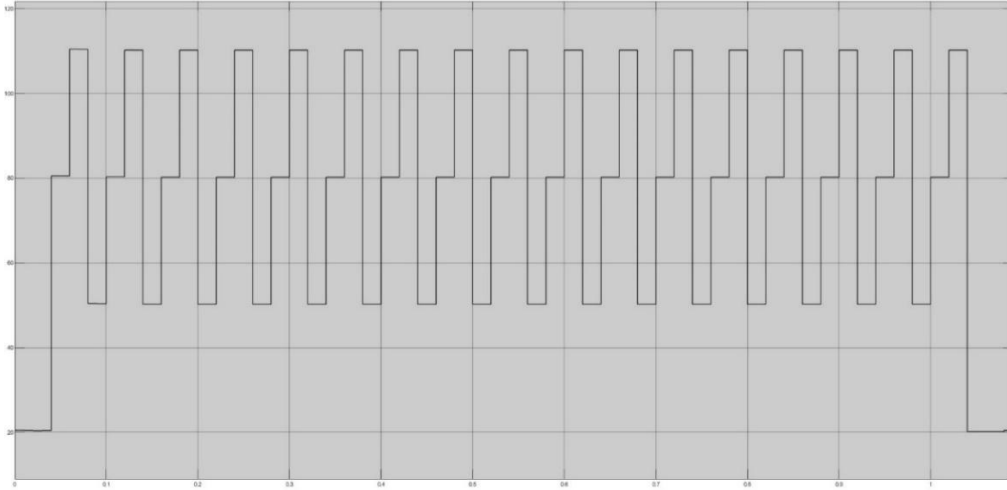


Şekil 16. Dron 'un Z eksenli boyunca hareketleri

Şekil 17'de, zamana bağlı olarak değişen ödül fonksiyonu sinyalini temsil etmektedir. Sistemin belli aralıklarla pozitif ve negatif teşvikler arasında düzenli bir geçiş yaşadığını göstermektedir. Kare dalga biçimi, sistemin belirli bir duruma ulaştığında yüksek ödül, diğer durumda ise düşük ya da ceza niteliğinde ödül aldığını gösterir.

Kare dalga benzeri yapısı, sistemin düzenli aralıklarla yüksek ve düşük ödül durumları arasında geçiş yaptığını göstermektedir. Bu davranış, öğrenme sürecinde ajan tarafından sergilenen tekrarlı başarı ve başarısızlık döngüsünün bir göstergesidir.

Sistem hedef davranışa ulaşmakta ancak bunu sürdürememekte, dolayısıyla periyodik bir ödül-ceza döngüsüne girmektedir. Bu tür dalgalı yapı, genellikle yeterli deneyim birikimi sağlanmadan uygulanan yüksek keşif oranları (örneğin yüksek epsilon değeri) nedeniyle olmaktadır.



Şekil 17. Dron 'un Ödül Grafiği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, pekiştirmeli öğrenmeye dayalı bir kontrol mimarisi geliştirilerek otonom bir dronun üç boyutlu uzayda güvenli ve etkin bir şekilde yönlendirilmesi sağlanmıştır. Simülasyon ortamında uygulanan temel algoritma, klasik Q-learning yaklaşımının derin öğrenmeyle bütünleştirilmiş hali olan Deep Q-learning (DQN) olup, ajan çevreden edindiği ödüller vasıtasıyla çevresel etkileşimlerini deneyimleyerek davranışlarını optimize etmiştir. Başlangıçta rasgele yönelimlere sahip olan ajan, her eğitim döngüsünde aldığı geri bildirimler doğrultusunda eylem seçim stratejisini yeniden yapılandırarak hedefe yönelik daha etkili yollar geliştirmiştir. Bu öğrenme süreci, olumlu sonuçları pekiştiren ve olumsuz durumları cezalandıran özel bir ödül fonksiyonu ile desteklenmiş; hedefe yaklaşım, rota takibi ve engel kaçınma gibi görevler kontrollü biçimde yönlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ajan tarafından uygulanan rotaların zamanla daha tutarlı hâle geldiği, üç ekseninde (X, Y, Z) gerçekleşen hareketlerin hedef geometriye benzer şekilde optimize edildiği gözlemlenmiştir. Özellikle belirli epizodlar sonunda ulaşılan rotaların önceden tanımlanmış referans yörüngeye oldukça yakınsadığı, böylece öğrenme sürecinin etkinliğini somut olarak ortaya koyduğu görülmektedir. Ayrıca Q-tablosunda yer alan değerlerin giderek daha dengeli bir dağılım göstermesi, öğrenmenin istikrarlı biçimde ilerlediğini kanıtlamaktadır. Bununla birlikte, yüksek keşif oranlarının uzun süre korunması durumunda gözlemlenen kararsızlıklar, keşif ve sömürü arasındaki dengeyi sağlamada kullanılan epsilon-greedy stratejisinin daha dinamik bir biçimde uyarlanması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, klasik tabanlı Q-learning algoritmasının ayrık durum-aksiyon uzaylarında yeterli çözüm performansı sağladığını gösterse de daha karmaşık ve sürekli uzaylı uygulamalarda genelleme kapasitesi daha yüksek olan DDPG, PPO ve SAC gibi gelişmiş derin pekiştirmeli öğrenme algoritmalarının tercih edilmesinin avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bu algoritmalar, nöral ağlar aracılığıyla duruma bağlı karar almayı öğrenme sürecini daha esnek ve ölçeklenebilir hâle getirerek, yüksek boyutlu sistemlerde kontrol başarımını artırma potansiyeline sahiptir. İlaven, bu çalışmanın kapsamı dinamik çevre koşulları, çoklu ajan sistemleri veya enerji tasarrufu gibi faktörler dâhil edilerek daha gerçekçi ve çok amaçlı görev planlamalarına genişletilebilir. Son olarak, geliştirilen algoritmaların fiziksel uçuş platformlarına entegre edilmesi ve gerçek zamanlı testlerle doğrulanması, sahada kullanılabilirliğin ve güvenilirliğin değerlendirilmesi açısından önemli bir adım olacaktır.

Genel değerlendirme itibarıyla, bu çalışmada geliştirilen pekiştirmeli öğrenme destekli kontrol yaklaşımı hem akademik araştırmalara katkı sunabilecek hem de endüstriyel ölçekte kullanılabilecek nitelikte bir çerçeve sunmakta; otonom hava araçlarının güvenli, esnek ve etkin görev icrasını sağlayacak şekilde bilgiye dayalı karar alma sistemlerinin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Not: Bu bildiri, tez yazarı Abdulnasır Uğurlu tarafından, Doç. Dr. Gonca Özmen Koca'nın danışmanlığında yürütülen "Pekiştirmeli Öğrenme ile Otonom Dron Uçuşu ve Görev Planlaması: Hedeflere Ulaşma ve Engelleri Aşma Stratejilerinin Geliştirilmesi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Arulampalam, S., Maskell, S., Gordon, N., & Clapp, T. (2002). A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 50(2), 174-188.
- Abbeel, P., & Ng, A. Y. (2004). Apprenticeship learning via inverse reinforcement learning. *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*, 1.
- Chen, M., Shi, J., Cui, X., & Chu, X. (2018). The application of deep reinforcement learning in drone navigation. In *2018 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)* (pp. 148-153).
- Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., ... & Wierstra, D. (2016). Continuous control with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1509.02971*.
- Lai, M., Kuo, C. H., & Fu, L. C. (2017). Deep reinforcement learning in autonomous navigation of quadrotor. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 3636-3643).
- Lyu, K., Xie, L., & Tian, Z. (2018). Reinforcement learning for UAV-assisted mobile edge computing in 5G-enabled IoT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(6), 3630-3638.
- Lebedev, S., Nosov, V., & Myshkin, S. (2017). Reinforcement learning for drones using COTS sensors. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 1-6).
- Mishra, A., Singh, V. P., & Sharma, S. K. (2020). Deep Reinforcement Learning-Based UAV Navigation and Control in Urban Environment. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 9325-9331).
- Mausam, Kumar, A., Joshi, M., & Schwag, V. (2018). Autonomous Drone Navigation using Reinforcement Learning. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.41), 42-45.
- Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A survey of transfer learning. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 22(10), 1345-1359.
- Raffin, A., Alliot, J. M., & Charpillet, F. (2013). Reinforcement learning for quadrotor-based aerobatics. *Autonomous Robots*, 34(1-2), 161-180.
- Ranftl, R., Bejarano, F., Dellaert, F., & Burgard, W. (2018). Towards Autonomous Navigation of Miniature UAVs in Complex GNSS-denied Environments. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*.
- Sun, Y., & Deng, Y. (2019). Deep reinforcement learning-based quadrotor control with continuous action space. *IEEE Access*, 7, 23276-23285.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction*. MIT Press.
- Taheri, S., & Akbari, M. (2019). Deep Reinforcement Learning for Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance of Miniature Quadrotor. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 96(1), 185-201.
- Zhu, S., Miao, Y., & Wang, Z. (2019). Reinforcement Learning for UAV Path Following: A Survey. *IEEE Access*, 7, 52328-52345.

AYGIT AĞACI ÜRETİMİNİN AZ-KODLU GELİŞTİRME YAKLAŞIMIYLA KOLAYLAŞTIRILMASI

Mehmet Samet Hakut

Ege Üniversitesi, Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü
msamet.hakut@proton.me, ORCID: 0000-0001-5700-4692

Prof. Dr. Geylani Kardaş

Ege Üniversitesi, Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü
geylani.kardas@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6975-305X

Özet

Gömülü sistem yazılımlarının geliştirilmesinde sıklıkla kullanılan aygıt ağaçlarının (DT) mevcut programlama dillerinden farklı bir söz dizime sahip olması nedeniyle gömülü yazılım geliştiricileri güçlüklerle karşılaşabilmektedir. Birçok alanda kullanılan model-güdümlü mühendislik ve bunu destekleyen az-kodlu geliştirme yöntemleri DT geliştirmede karşılaşılan zorlukları azaltmaya yardımcı olabilir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada gömülü sistemlerde DT yazılımlarının az-kodlu geliştirilmesini sağlayan LCDP4DT adlı bir yazılım geliştirme platformu tanıtılmaktadır. Kullanıcıların görsel olarak DT konfigürasyonlarını oluşturabilecekleri bir ortam için öncelikle bir üst model ve bunu kullanan sözdizim tanımları yapılmıştır. Farklı bakış açılarından DT modellerinin tanıtılan bu görsel sözdizim ile oluşturulması ve bu modeller üzerinden gerekli DT yazılımlarının otomatik üretilmesi süreci de yine bildiride bir durum çalışması üzerinden örneklenmiştir. Kullanıcılara çevrim içi ve işbirlikçi olarak DT geliştirme imkânı sunan LCDP4DT'nin, mevcut diğer yaklaşımlar ile farkları ve geliştirme süresini kısaltma, hata oranını düşürme ve bakım kolaylığı sağlama potansiyeli bildiride tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: LCDP4DT, Aygıt ağacı, Az-kodlu geliştirme, Model-güdümlü mühendislik

FACILITATING DEVICE TREE GENERATION WITH A LOW-CODE DEVELOPMENT APPROACH

Abstract

Embedded software developers may encounter difficulties during the preparation of the device trees (DTs) frequently used in embedded system software development since DTs have a syntax that is different from existing programming languages. Model-driven engineering and low-code development methods that support it, used in many areas, can help reduce the difficulties encountered in DT development. Hence, this study introduces a software development platform called LCDP4DT that enables low-code development of DT software in embedded systems. First, a metamodel and the syntax definitions that use it were made for an environment where users can visually create DT configurations. The process of creating DT models from different viewpoints with this introduced graphical syntax and automatically generating the necessary DT software from these models is also exemplified in the paper through a case study. LCDP4DT, which offers users the opportunity to develop DTs online and collaboratively, is discussed in the paper, along with its differences from other existing approaches and its potential to shorten development time, reduce error rates, and provide ease of maintenance.

Keywords: LCDP4DT, Device tree, Low-code development, Model-driven engineering

1. GİRİŞ

Gömülü sistemler, kişisel bilgisayarlardan farklı olarak, belirli ve önceden tanımlanmış görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmış, genellikle sınırlı işlemci gücü, bellek ve diğer çevre birimlerine sahip sistemlerdir. Bu sistemler, cep telefonlarından araç takip cihazlarına, ağ ekipmanlarından motor kontrol ünitelerine, fren sistemlerinden ev otomasyon ürünlerine, hava savunma sistemlerinden tıbbi cihazlara ve ölçüm sistemlerine kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır (Saritas & Kardaş, 2014).

Günümüzde, teknolojik ilerlemelerle birlikte bu sistemlerde kullanılan donanım çevre birimlerinin çeşitliliği sürekli artmakta, aynı zamanda işletim sistemleri ve çekirdekleri de sık sık güncellenmektedir. Bu dinamik ortam, donanım ve yazılım arasındaki etkileşimi karmaşıklştırmaktadır. Geleneksel olarak, işletim sistemi çekirdekleri, tüm çevre birimlerinin sürücü dosyalarını doğrudan kendi kaynak kodlarında barındırmaktadır (Likely & Boyer, 2008). Bu durum, saat sinyali frekansı, pin adları veya genel olarak kullanılan çipler gibi donanım bilgilerinde yapılacak herhangi bir değişiklik için çekirdek kodunun manuel olarak değiştirilmesini ve tekrardan derlenmesini gerektirmektedir. Bu süreç hem yüksek bakım maliyetleri yaratmakta hem de uzun geliştirme sürelerine yol açmaktadır (Likely & Boyer, 2008). Bu zorlukları aşmak amacıyla Aygıt Ağacı (ing. Device Tree) (DT) yaklaşımı geliştirilmiştir. DT, donanım bilgilerini işletim sistemi çekirdeğinden ayırarak, çekirdeğin daha genel amaçlı bir yapıya sahip olmasını sağlamıştır (Devicetree Community, 2025). Bu sayede, çevresel işlemler çekirdek kaynak koduna müdahale etmeden gerçekleştirilebilmektedir. Gömülü sistemlerin sürekli evrimi, donanım çeşitliliğinin ve işletim sistemi karmaşıklığının artmasıyla belirginleşmektedir. Bu durum, Aygıt Ağaçları gibi soyutlama mekanizmalarına olan ihtiyacı daha da tetiklemektedir. Bu, sadece teknik bir tercih olmanın ötesinde, artan sistem karmaşıklığını yönetmek ve geliştirme yükünü azaltmak için stratejik bir yanıt olarak değerlendirilmelidir. Artan donanım çeşitliliği ve hızlı yazılım evrimi, geliştirme ve bakım süreçlerinde darboğazlara yol açmaktadır. DT, donanım özelliklerini çekirdekten ayırarak bu karmaşıklığı yönetmeye yardımcı olan temel bir soyutlama katmanı sunmaktadır (Madieu, 2017). Bu yaklaşım, gömülü yazılım geliştirme alanındaki ölçeklenebilirlik sorunlarına yönelik temel bir mimari çözüm getirmektedir (Arslan & Kardaş, 2018).

Yazılım geliştirme paradigmaları, geleneksel kodlama yaklaşımlarından daha yüksek soyutlama seviyelerine doğru önemli bir değişim geçirmektedir. Bu değişimin merkezinde, bilgisayar programlarını daha hızlı, daha verimli ve minimum maliyetle geliştirmeyi hedefleyen Model-Güdümlü Mühendislik (ing. Model-driven Engineering) (MDE) yer almaktadır (Brambilla et al., 2022). MDE, yazılımın temel yapı taşlarını modeller aracılığıyla ifade etmeyi ve bu modellerden otomatik olarak kod üretmeyi amaçlar.

Bu bağlamda, az-kod geliştirme (ing. low-code development) (LCD) modern yazılım mühendisliğinde giderek artan bir önem kazanmaktadır (Cabot, 2020). Az-kod, manuel kod yazma miktarını azaltarak yazılım geliştirmeyi basitleştirmeyi amaçlayan ve genellikle görsel bileşenlerle çevrim içi olarak yazılım geliştirmeye imkân veren bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, geliştirici olmayan ancak alan uzmanı olan kişilerin bile yazılım geliştirme süreçlerine katkıda bulunmasını sağlayarak, geliştirme ekiplerinin verimliliğini artırmaktadır. MDE ve az-kodun benimsenmesi sadece verimlilikle ilgili bir tercih değildir; aynı zamanda modern yazılım sistemlerinin doğal karmaşıklığını soyutlama seviyesini yükselterek yönetmeye yönelik stratejik bir değişimi ifade etmektedir (Di Ruscio et al., 2022). Temel fayda sadece geliştirme hızı değil, karmaşıklığın ele alınış biçiminde daha köklü bir dönüşümdür (Arslan et al., 2023). Kod detaylarını görsel modellere soyutlayarak, MDE ve az-kod, birçok yazılım uygulama alanı için artan karmaşıklığı daha etkili bir şekilde yönetme yeteneği sağlamaktadır (Bock & Frank, 2021).

Gömülü sistem yazılım geliştiricileri genellikle metin tabanlı ve mevcut programlama dillerinin sözdiziminden farklı olan DT kaynak dosyalarını kullanmakta güçlük çekmektedirler (Arslan & Kardaş, 2020). Aygıt ağacı var olmadan söz konusu cihazların yalnızca Linux çekirdeğine bağlı olarak çalışmadığı ve aygıt ağacı geliştirme için bir modelleme dilinin var olmayışı göz önüne alınırsa geliştiriciler bu söz dizimini de öğrenmek zorunda kalmakta ve bu durum yazılım geliştirmede yavaşlamaya sebep olmaktadır. LCD'nin yukarıda değinilen yazılım geliştirmeye getirdiği kolaylıktan DT konfigürasyonlarının geliştirilmesinde de yararlanılabilir. DT kodlamanın getirdiği bilişsel yük ve hata yapma eğilimi LCD ile azaltılabilir. Ayrıca düşük seviyeli uygulama detayları yerine, alanın temel mantığına odaklanmayı mümkün kılacağından yazılım geliştirme bilgi ve becerisi kısıtlı gömülü sistem uzmanlarının da daha kolay bir şekilde DT uygulamalarını geliştirmesine LCD imkân verebilir. Bu noktadan hareketle bu bildiride DT'lerin MDE'sini kolaylaştıracak ve kısaca LCDP4DT adı verilen yeni bir az-kodlu geliştirme platformu (ing. low-code development platform) (LCDP) tanıtılmaktadır.

Bu bildiride tanıtılan LCDP4DT daha önce DT'lerin MDE teknikleri ile geliştirilmesine imkân veren ve (Arslan & Kardaş, 2020)'de anlatılan DSML4DT isimli bir alana-öзgü modelleme dilini temel

almaktadır. (Arslan & Kardas, 2020)'de DT'ler için tanımlanan model elemanları ve ilişkiler bu bildiride anlatılan üst modelde güncellenmiş ve DSML4DT'nin bakış açılarındaki düğüm temsilleri kullanımlarını kolaylaştırmak amacıyla birleştirilmiştir. DSML4DT kullanırken DT uygulamalarını sadece masaüstü ve çevrim dışı geliştirme zorunluluğu LCDP4DT'de ortadan kaldırılmıştır ve geliştiricilerin herhangi bir yerden ve herhangi bir cihazdan DT modellerini çevrim içi oluşturmaya ve yönetmesine olanak tanınmıştır. Böylece geliştiricilerinin bilgisayarları üzerinde bir entegre geliştirme ortamını (IDE) ayrıca kurmasına gerek kalmaz ve birden fazla geliştirici ağ üzerinden aynı anda DT geliştirme yapabilir. Bu özellikler geliştiriciler arasında iş birliği ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır.

Bildirinin ikinci bölümünde ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde LCDP4DT'nin dil yapısında bulunan soyut ve somut sözdizimler anlatılmaktadır ve DT modellerinin doğruluğuna yardım eden model kısıt kontrolleri gösterilmektedir. Altıncı bölümde önerilen platformun kullanımı bir durum çalışması üzerinden örneklenmiştir. Yedinci ve son bölümde sonuçlar ve ileriye yönelik çalışmalar verilmiştir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Gömülü sistemlerde donanım-yazılım ayrımını sağlamak amacıyla geliştirilen DT yapısı, Linux çekirdeğinde gömülü donanım tanımını soyutlamak için kullanılmaktadır. Bu konuda (Likely & Boyer, 2008) tarafından sunulan çalışma, DT yapısının tarihsel gelişimini ve gömülü donanımı tanımlamadaki rolünü kapsamlı bir şekilde açıklamaktadır. (Simmonds, 2015) ise, gömülü Linux sistemlerde DT'nin pratik kullanımını detaylı örneklerle ele almaktadır. Literatürde DT'ler ve DT-tabanlı konfigürasyonların örneğin Linux dosya sistemlerinde çoklu cihaz desteği (Rodeh et al., 2013), ana kartlardaki mikroişlemcilerin paket optimizasyonları (Gioia et al., 2016), toplu taşımada sürücü terminallerinin hazırlanması (Arslan et al., 2017), etkileşimli sanal hidroelektrik üretme ekipmanlarını oluşturma (Li et al., 2018), trafik işaretlerini tanıma (Farhat et al., 2019) ve gerçek zamanlı sağlık izleme cihazı üretme (Swaroop et al., 2019) gibi amaçlar için kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalarda DT'lerin geliştirilmesi için MDE yaklaşımları takip edilmemiştir.

Donanım konfigürasyonlarının mantıksal yapısı (Schüpbach et al., 2012), sanal makine (Nikkel 2016), çevresel komponent arabağlantı arayüzleri (Devigne et al., 2017) ve alan programlanabilir kapı dizilerinin oluşturulması (Neuendorffer, 2018) gibi ihtiyaçlar için DT'nin kullanımını açıklayan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların hiçbiri bu bildiride tanıtılan LCDP4DT gibi otomatik DT yazılımı üretimini desteklememektedir. (Jassi et al., 2016)'daki çalışmada, donanım sürücü kodu oluşturmak için DT üretiminin yapıldığı belirtilmiş, ancak yöntem, kapsam ve deneysel sonuç bölümlerinde DT üretimi ile ilgili bir bilgi verilmemiştir. Ayrıca (Jassi et al., 2016) çalışmasında Evrensel Seri Veriyolu, Seri Çevresel Arayüz vb. birçok farklı arayüz için bileşenlerin MDE'si yoktur. DT'lerin MDE'si için (Arslan & Kardas, 2018) ve (Arslan & Kardas, 2020)'de model-güdümlü DT geliştirme ihtiyacı vurgulanmış ve DSML4DT isimli bir alana-özgü modelleme dili tanıtılmıştır. Bu çalışmalarda grafiksel ortamda aygıt ağaçlarının modellenmesi ve otomatik kod üretimi mümkün hale getirilmiştir. Ancak bildirinin ilk bölümde de açıklandığı üzere DSML4DT'de Core, SoC, Aips Bus, Spba Bus gibi DT bakış açıları için yazılım modelleme ayrı ayrı yapılmaktadır ve modeller arası geçişler için kullanıcının ek işlemler yapması gerekmektedir. Ayrıca DSML4DT'nin sunduğu IDE sadece masaüstündedir; çevrim içi ve işbirlikçi geliştirmeyi desteklemez. Bu bildiride tanıtılan LCDP4DT sunduğu geliştirilmiş üst model ve web tabanlı ortam ile DSML4DT'nin bu eksikliklerini gidermektedir.

3. SOYUT SÖZDİZİM

Modelleme dillerinin soyut sözdizimi bir alandaki kavramları ve bunların ilişkilerini tanımlar. Bu sözdizim de genellikle bir üst modele bağlı olarak tanımlanır (Kardas et al., 2023). LCDP4DT'nin soyut sözdizimi de bir üst model (metamodel) ile oluşturulmuştur ve bu üst model kolay ve verimli kullanım amacıyla beş farklı mantıksal bakış açısına (viewpoint) bölünmüştür: Core, SoC, Aips_Bus, Spba_Bus ve Peripheral. Bu bakış açıları, DT standartlarındaki elemanların ilişkilerine göre ayrılmıştır. Bu gruplandırma, (Arslan & Kardas, 2020)'de tanıtılan ve LCDP4DT'nin de temel aldığı sözdiziminin geliştirilmesini kolaylaştırmakta ve DT geliştiricileri tarafından daha rahat yorumlanmasını ve daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Örneğin, belirli LCDP4DT bakış açılarının güncellenmesi, tek bir

bakış açısı kullanımına ve büyük bir model üzerinde çalışmaya kıyasla çok daha kolaydır. Ayrıca, bu çoklu görünüm yapısı, mevcut sözdiziminin gelecekteki özel ihtiyaçlar durumunda genişletilmesine olanak tanır. LCDP4DT'deki modelleme bakış açıları aşağıda kısaca anlatılmıştır ve örnek olarak Şekil 1'de Core bakış açısında yer alan üst varlıklar ve ilişkileri gösterilmiştir.

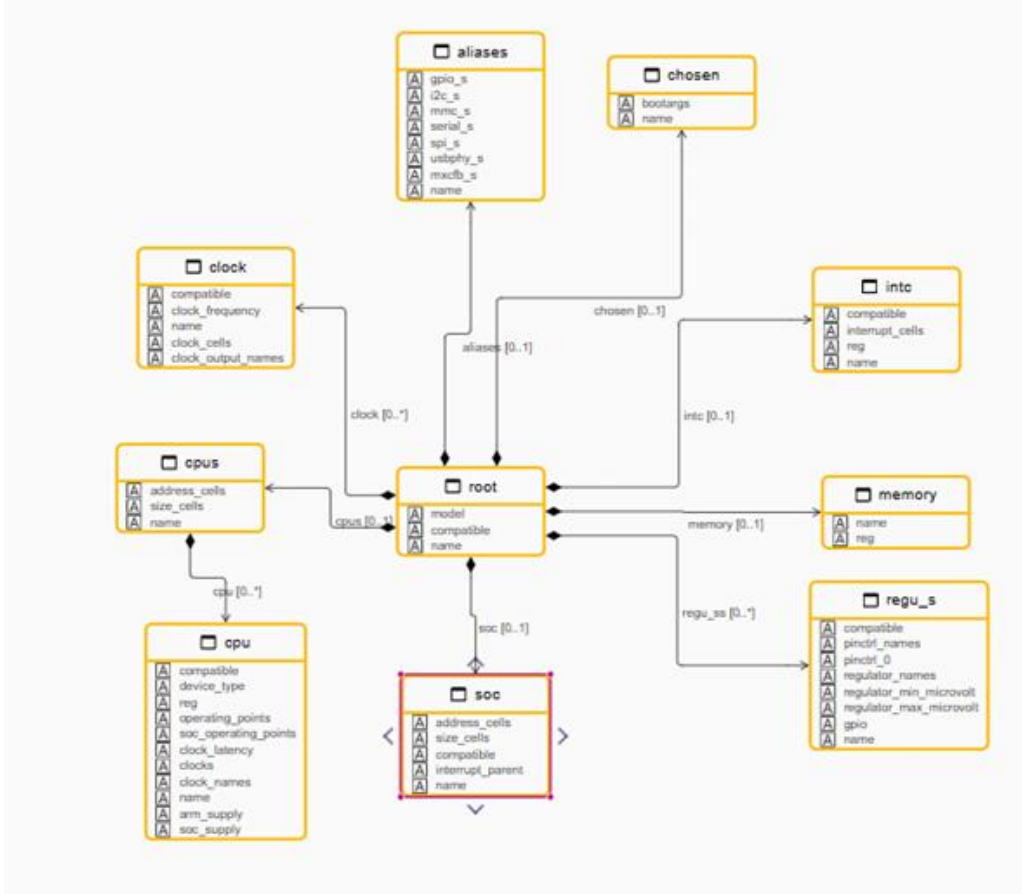
Core Bakış Açısı: Tüm sistemin türetildiği temel düğüm olan “root” elemanını içerir. Gömülü sistemin işlemci ve belleği bu bakış açısında tanımlanır. Bu bakış açısında yer alan varlıklar kullanılarak bir gömülü sistemin en temel özellikleri kurgulanabilir ve işletim sisteminin hangi tür çekirdek ve bellekle çalıştığını ve nasıl başlayacağını bilmesini sağlar. Çok çekirdekli işlemcilerde, her çekirdek birimi için gerekli türevler “cpus” ögesinden yapılır. Ayrıca, “aliases” ve “chosen” gibi tüm DT yapısında kullanılacak kısaltmalar ve önyükleme parametre geçişlerini sağlayan öğeler de burada bulunur.

SoC Bakış Açısı: SoC entegre devrelerinin özelliklerine yönelik desteği içerir. Ses, görüntü ve zamanlayıcı gibi birçok SoC özelliğinin parametre ayarları modellenenebilir. Bir SoC, genellikle CPU, bellek ve diğer birçok çevre birimini içeren tek bir çip üzerindeki bir mini bilgisayar gibidir. “Aips_bus”, “gpmmi”, “ocram” bu bakış açısının temel öğeleridir.

Aips_Bus Bakış Açısı: Düşük bant genişliğine sahip SoC çevresel bileşenlerinin SoC birimleri ile iletişim kurduğu Aips Bus arayüzünü modellemeyi sağlar. Bu veriyolu, bir SoC içinde yaygın bir iletişim yoludur ve öncelikle daha düşük bant genişliğine sahip çevresel bileşenleri ana SoC birimlerine bağlamak için kullanılır. “caam”, “iomuxc”, “ldb”, “usb”, “fec”, “i2c”, “uart”, “pwm”, “flexcan”, “gpio”, “wdog”, “clks”, “usbphy” ve “spba_bus” gibi elemanlar bu bakış açısından üretilebilir.

Spba_Bus Bakış Açısı: Paylaşımlı Çevresel Hat Arayüzü (SPBA) veriyolunu kullanarak harici birimlerle iletişimi modellemeyi sağlar. Genellikle doğrudan SoC ana veriyoluna entegre edilmeyecek özel harici çevre birimlerini bağlamak için kullanılan başka bir veriyolu türüdür. SoC biriminin gelişmiş ses işleme gibi belirli görevleri yerine getiren bazı harici çipler veya modüllerle nasıl iletişim kuracağını ayarlamak için kritik öneme sahiptir. “spdif”, “esai”, “ssi” ve “ecspi” gibi birimler spba_bus elemanından üretilebilir.

Peripheral Bakış Açısı: SoC entegre devresinde olmayan ve SoC'a dışarıdan bağlı üniteleri içerir. Farklı ses ve video dönüştürücüler gibi entegre devre çevre birimleri burada tanımlanır. Bunlar, çipin içine yerleşik olmak yerine SoC'ye fiziksel olarak dışarıdan bağlanan birimlerdir. Bu bakış açısı, DT'nin kapsamını SoC bileşeninin ötesine genişleterek, eksiksiz bir gömülü sistemi oluşturan tüm ek donanımı tanımlamaya ve yapılandırmaya olanak tanır. “clocks”, “sound”, “lcd” ve “backlight” gibi öğeler bu bakış açısındadır.



Şekil 1: Somut Sözdizim Core Bakış Açısının Soyut Sözdizimdeki Karşılığı

4. SOMUT SÖZDİZİM

Bölüm 3’te verilen DT üst modelindeki varlıklar ve ilişkilerinin örnek modeller üzerindeki temsilleri arasında bir eşleme sağlamak amacıyla görsel bir somut sözdizim tanımlanmıştır. Dilin sunumunu ve inşasını kolaylaştıran bir dizi notasyon belirlenmiştir ve bunların IDE’de içerisindeki grafiksel temsilleri ayarlanmıştır. Tablo 1’de, LCDP4DT’nin DT modelleme için içerdiği kavramlara karşılık gelen görsel notasyonların bir kısmı örnek olarak listelenmiştir. Yer kısıtları nedeniyle sadece LCDP4DT’deki temel öğelerin grafiksel gösterimleri sunulmuştur.

Tablo 1: LCDP4DT somut sözdizim kavramları ve gösterimleri

Konsept	Notasyon	Konsept	Notasyon
CPU		CLOCK	
MEMORY		SOC	
AIPS_BUS		LCD	
SPBA_BUS		SOUND	

INTERRUPT_CONTROLLER		BACKLIGHT	
----------------------	---	-----------	---

LCDP4DT sözdizimi araçları, modelleme işlemi sırasında kullanıcıya tasarımda yardımcı olan bazı kısıtlamalar ve denetimler gerçekleştirir. Bu kontroller metamodelden ve görsel arayüz aracından gelmektedir. Aşağıdakı alt bölümlerde aynı zamanda LCDP4DT modelleri için statik semantik sağlayan bu kısıtlama ve denetimler anlatılmaktadır.

4.1. Model Kısıtlamaları ve Doğrulama Kuralları

LCDP4DT IDE'si, Eclipse Sirius Web (Sirius-web, 2025) altyapısına dayanmaktadır ve Sirius'taki LCDP4DT Ecore modellerinden türetilen kapsamlı kısıtlamalar, tüm bakış açılarındaki örnek modeller için tutarlılık ve doğruluk sağlar. Bu kısıtlamalar, hataları önleyerek ve doğru bir DT hiyerarşisi oluşturarak modelleme sürecini büyük ölçüde kolaylaştırır.

Bu kısıtlamalar ve doğrulama kuralları şunları içerir:

- **İlişki Kontrolü:** Model elemanları arasındaki bileşimsel ilişkiler otomatik olarak denetlenir. Örneğin, root elemanından memory ve battery elemanlarının türetilmesi gibi hiyerarşik bağlantılar kontrol edilir. Yanlış bir bağlantı kurulması kapsama özelliğinden dolayı mümkün değildir. Kullanıcı alt düğümleri sadece ilgili üst düğüme bağlayabilir çünkü diğer düğümler kullanıcıya seçenek olarak sunulmaz.
- **Eleman Sayısı Kısıtlamaları:** Bir örnek modeldeki elemanlar arasındaki ilişki sayısı (bire bir, bire çok, çoktan çoğa) ve ilişkinin yönünü tanımlayan kaynak ve hedef kısıtlamaları uygulanır. Bu, belirli bir modülün yalnızca bir ana veriyoluna bağlanmasına izin verilirken, birden fazla çevre biriminin bir veriyoluna bağlanabilmesi gibi senaryoları destekler.
- **Benzersizlik Kontrolü:** Belirli model elemanlarının sistemde benzersiz olması gerekiyorsa, platform bunu denetler ve aynı elemandan birden fazla bulunması durumunda uyarı verir. "Tüm öğeler için sistemde birleştirme" özelliği, benzersiz öğelerin bir listeye kaydedilerek farklı bakış açılarında kullanılmasını sağlayarak bu kontrolü destekler.
- **İlişki-Eleman Bütünlüğü:** Bir öğe kaldırıldığında, ilgili tüm ilişkiler modelden otomatik olarak kaldırılır. Bu, modelin tutarlılığını korur ve kopuk bağlantıları engeller.
- **Üst Düğüm Kısıtlaması:** Her bir düğüm, içerme özelliği sayesinde bir üst düğüm olmadan oluşturulamaz. Bu kural, Aygıt Ağacının doğru ve hiyerarşik yapısının kurulmasını garanti eder.

4.2. Grafiksel Araçlar

Metamodel kısıtlamalarına ek olarak, LCDP4DT modellemesi, kullanıcıya tasarımda yardımcı olan editöre bağlı kısıtlamalar ve özellikler içerir. Bu araçlar modellemenin esnekliğini ve verimliliğini artırır:

- **Farklı Bakış Açıları Arasında Geçiş:** Editör, farklı bakış açılarının editörleri arasında geçiş yapma imkânı sunarak sistemin adım adım ve modüler bir şekilde oluşturulmasını sağlar.
- **Kod Üretim Komut Dosyası:** Geliştirilen kod üretim komut dosyası sayesinde meta-model ve model eşlemeleri yapılarak modeldeki düğümlerin doğru DT düğümlerine çevrilmesi sağlanır. Bu, modelden kod üretme sürecini otomatize eder.

Bu tür statik model kontrolleri, geliştirme sürecindeki hataları erken aşamada tespit ederek hem zaman kazandırır hem de üretilen kodun kalitesini artırır. Geliştirilen kod üretim komut dosyası sayesinde meta-model ve model eşlemeleri yapılarak modeldeki düğümlerin doğru DT düğümlerine çevrilmesi sağlanmaktadır.

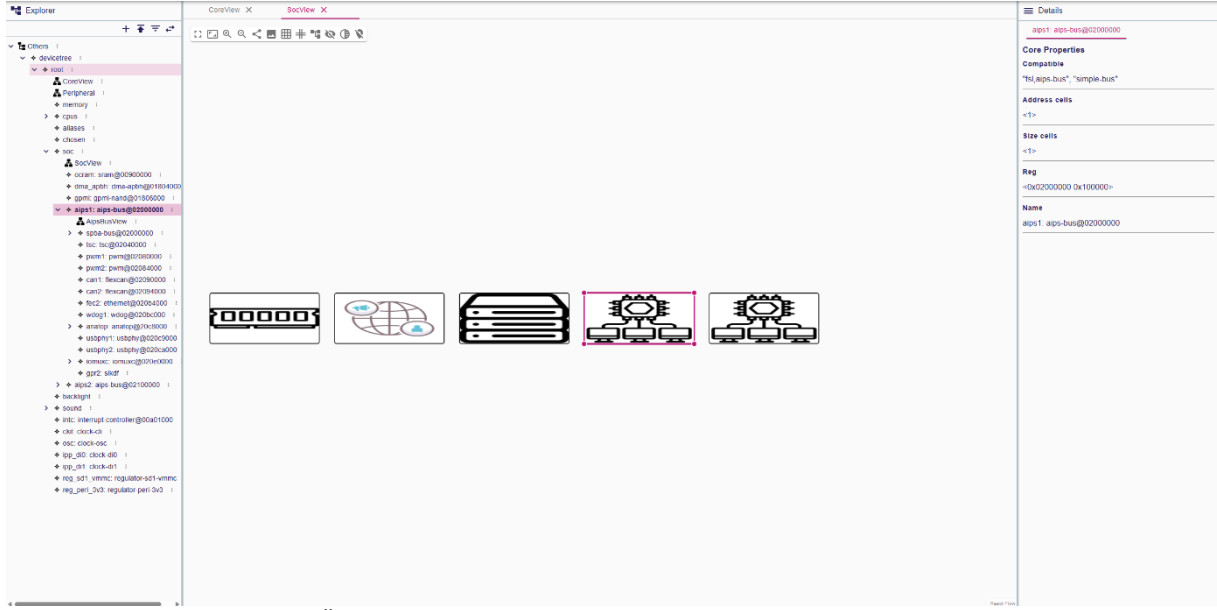
Şekil 2'de bir örneği verilen LCDP4DT'nin çevrimiçi DT modeli geliştirme ortamına bir kullanıcı girdiğinde yeni bir proje oluşturacak ve model tipi domain seçilerek bir isim verilecektir. Daha sonrasında bu projeye yeni bir nesne eklemeyi seçecek ve nesne tipi olarak önceden geliştirilmiş olan meta-model LCDP4DT'yi seçecektir. Başlangıçta sadece bir tane seçim hakkı vardır. Kapsama

prensibinden dolayı kardinalite'ye göre her bir nesnenin içine yeni ve onunla ilintili olan nesneleri seçecek ekleyecektir. Root altına girdiğinde kullanıcı artık core bakış açısında bulunmaktadır. Burada core altında olacak tüm nesneleri ekleyebilir. Burada ayrıca kademelendirmeden kaynaklı peripheral bakış açısındaki birtakım nesneleri de ekleyebilir. Bu bakış açıları görsel çerçevede ayrılmıştır. Sol taraftaki bilgileri ilgili şekilde tamamen doldurduktan ve tüm modeli oluşturduktan sonra kullanıcı oluşturduğu modeli indirmeli ve indirilen bu xml dosyasını LCDP4DT'nin işletimsel semantiğini oluşturan bir Python yazılımına iletmelidir. Söz konusu Python yazılımı DT modellerine karşılık gelen DT konfigürasyonlarını oluşturmak için LCDP4DT modellerini parse eder. Burada Python yazılımını çalıştırırken --xml-in model.xml --dts-out output.dts şeklinde kullanılmalıdır. Buna ek olarak ileride DT konfigürasyonlarından DT modellerini geri elde etme amacıyla --mapping mappings.json parametresi de eklenebilir. Bu sayede orijinal modeldeki düğüm isimleri ayrıca saklanmakta ve DT dönüşümünde yok olan xml düğümleri geri döndürülebilmektedir. Çünkü DT dönüşümünde xml düğümlerindeki name nitelikleri DT düğümlerine isim vermektedir. Kullanılan teknolojinin bize yeni bir xml yükleme özelliği de sunması ile ilerideki çalışmalarla oluşturulan yeni modeller sisteme geri yüklenip tekrardan grafiksel anlamda geliştirme sağlanabilecektir.

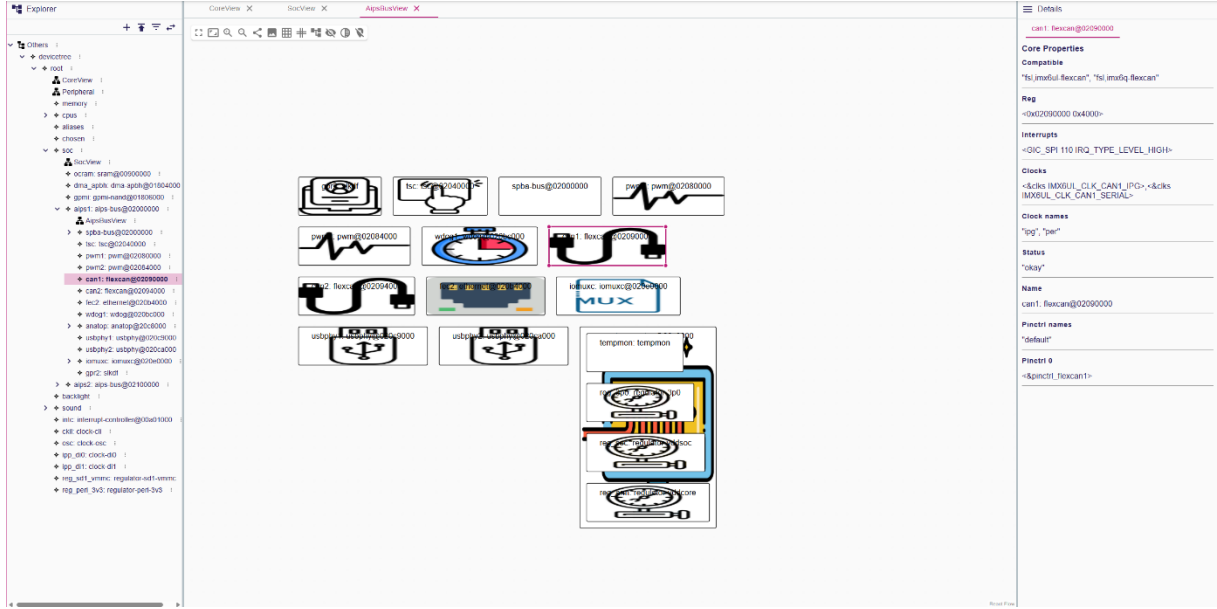
5. DURUM ÇALIŞMASI

Bu bölümde örnek çalışma olarak Linux çekirdeğinde imx6ul-14x14-evk.dtsi dosyasının LCDP4DT ortamında LCD yöntemi ile oluşturulması amaçlanmaktadır. imx6ul-14x14-evk.dtsi dosyası imx6ul işlemcisi ile oluşturulan genel amaç geliştirme kartının (NXP Semiconductor,2023) çalışması için üretici tarafından geliştirilmiş bir aygıt ağacıdır. i.MX6UltraLite işlemcisinin birçok en yaygın kullanılan özelliklerini gösteren ve özel bir geliştirme yapmadan önce kullanıcının işlemciye aşina olmasını sağlayan bir geliştirme kartının örnek aygıt ağacı konfigürasyonudur.. imx6ul-14x14-evk.dtsi dosyasında işlemci için geliştirilmiş imx6ul.dtsi dosyası kütüphane olarak dahil edilmiş ve bazı tanımlamaları üst dosyadan almıştır. Bizim örneğimizde ise genel anlamda bir aygıt ağacı üretimi amaçlanmaktadır. Bu sebeple örnek aygıt ağacında olanlara ek olarak çip temelli belirlenmiş registerlar ve saat frekansları gibi özelliklerle toplu bir aygıt ağacı oluşturulacaktır. Kullanıcı üst katmandan başlayarak alta doğru ilgili düğümleri oluşturarak bu düğümlerle ilgili bilgileri Şekil 2 ve Şekil 3'te sağda görünen kutucuklara girmektedir. Görsel bir bakış için önceden meta-modelde oluşturulmuş temsilleri kullanabilir. Böylelikle bakış açısına dayalı bir görsel elde edebilir. Tüm geliştirmeleri yaptıktan sonra kullanıcı ilgili modeli indirmeli ve Şekil 4'de gösterildiği gibi Python yazılımına iletmelidir. Sonuçta oluşturulan modele göre bir dts dosyası oluşturulmaktadır. Şekil 2'de gösterilen soc bileşeni ve içerisinde yer alan elemanların DT üretimi sonrası oluşan kodları Şekil 5'de gösterilmekte, aynı şekilde Şekil 3'te gösterilen aips_bus bileşeni ve içerisinde yer alan elemanların DT üretimi sonrası oluşan kodlar Şekil 6'da gösterilmektedir. Üretilen tüm DT yer kısıtı nedeniyle eklenememiştir.

LCDP4DT imx serisi için geliştirilmiştir. Örnek çalışma ise imx6ul serisinin geliştirme kartı için bir durum çalışmasıdır. Dts dosyalarında var olan kütüphanelerin dts dosyasına dahil edilmesi için yine Python yazılımına ek parametre geçerek bu kütüphaneler eklenebilir. Bunların dışında aygıt ağaçlarında her durumda bulunmayan ve birtakım çiplerin kullanımında eklenmesi gereken parametreler bu araç ile oluşturulamamaktadır. Daha genel ve bir örüntüsü olan adımlarda tamamen dönüşüm sağlamasına rağmen söz konusu DT dosyasının yaklaşık %90'ı sadece LCDP4DT'de modelleme ile otomatik olarak üretebilmektedir. Daha özelleşmiş yeni üst model elemanlarının LCDP4DT'ye eklenmesi ve bir arada kullanılmasıyla bu oran %100 oranına yaklaşabilir.



Şekil 2: Örnek DT uygulamasının Soc bileşenlerinin modellenmesi



Şekil 3: Örnek DT uygulamasının Aips_bus bileşenlerinin modellenmesi

```
PS D:\Masters Degree> python.exe .\converter.py -h
usage: converter.py [-h] [--xml-in XML_IN] [--dts-out DTS_OUT] [--dts-in DTS_IN] [--xml-out XML_OUT] --map MAP
                    [--includes [INCLUDES ...]]

Convert Sirius-compatible XML ↔ DTS

options:
  -h, --help            show this help message and exit
  --xml-in XML_IN       Input XML file
  --dts-out DTS_OUT     Output DTS file
  --dts-in DTS_IN       Input DTS file
  --xml-out XML_OUT     Output XML file
  --map MAP             Path to node_map.json
  --includes [INCLUDES ...]
                        List of DTS include files to add (e.g., --includes 'header.dtsi' '<system/header.h>')

PS D:\Masters Degree> python3.12.exe .\converter.py --xml-in '.\Others_final.xml' --dts-out test_dts.dts --map mapping.j
son --include "<dt-bindings/clock/imx6ul-clock.h>" "<dt-bindings/gpio/gpio.h>" "<dt-bindings/input/input.h>" "<dt-bindin
gs/interrupt-controller/arm-gic.h>" "imx6ul-pinctrl.h"
[✓] DTS written to test_dts.dts
[✓] Map written to mapping.json
PS D:\Masters Degree>
```

Şekil 4: Örnek DT uygulamasının LCDP4DT'nin Python tabanlı kod dönüştürücü çalıştırılarak üretilmesi

```
54 soc {
55     address_cells = <1>;
56     size_cells = <1>;
57     compatible = simple-bus;
58     interrupt_parent = <&gpc>;
59     ocram: sram@00900000 {
60         compatible = mmio-sram;
61         reg = <0x00900000 0x20000>;
62     };
63     dma_apbh: dma-apbh@01804000 {
64         compatible = "fsl, imx6q-dma-apbh", "fsl, imx28-dma-apbh";
65         reg = <0x01804000 0x2000>;
66         interrupts = <0 13 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>, <0 13 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>, <0 13 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>, <0 13 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
67         dma_cells = <1>;
68         dma_channels = <4>;
69         clocks = <&clks IMX6UL_CLK_APBHDMA>;
70     };
71     gpml: gpml-nand@01806000 {
72         compatible = "fsl, imx6q-gpml-nand";
73         address_cells = <1>;
74         size_cells = <1>;
75         reg = <0x01806000 0x2000>, <0x01808000 0x2000>;
76         reg_names = "gpml-nand", "bch";
77         interrupts = <0 15 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
78         interrupt_names = "bch";
79         clocks = <&clks IMX6UL_CLK_GPML_IO>, <&clks IMX6UL_CLK_GPML_APB>, <&clks IMX6UL_CLK_GPML_BCH>, <&clks IMX6UL_CLK_GPML_BCH_APB>, <&clks IMX6UL_CLK_PER_BCH>;
80         clock_names = "gpml_io", "gpml_apb", "gpml_bch", "gpml_bch_apb", "per1_bch";
81         dmas = <&dma_apbh 0>;
82         dma_names = "rx-tx";
83         status = "okay";
84         pinctrl_names = "default";
85         pinctrl_0 = <&pinctrl_gpml_nand_1>;
86     };
87 > aips1: aips-bus@02000000 {
88     };
89 > aips2: aips-bus@02100000 {
90     };
91 >
```

Şekil 5: LCDP4DT modelinden oluşturulan DT kodunun içerisinde soc düğümünün örneği

```

aips1: aips-bus@02000000 {
    compatible = "fsl, aips-bus", "simple-bus";
    address_cells = <1>;
    size_cells = <1>;
    reg = <0x02000000 0x100000>;
    spba-bus@02000000 {
        compatible = "fsl, spba-bus", "simple-bus";
        address_cells = <1>;
        size_cells = <1>;
        reg = <0x02000000 0x40000>;
        ecspi4: ecspi@02014000 {
            address_cells = <1>;
            size_cells = <0>;
            compatible = "fsl, imx6ul-ecspi", "fsl, imx51-ecspi", "spi-gpio";
            reg = <0x02014000 0x4000>;
            interrupts = <GIC_SPI 34 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
            clocks = <&clks IMX6UL_CLK_ECSPi4>, <&clks IMX6UL_CLK_ECSPi4>;
            clock_names = "ipg", "per";
            status = "okay";
            pinctrl_names = "default";
            pinctrl_0 = <&pinctrl_spi4>;
            pinctrl_assert_gpios = <&gpio5 8 GPIO_ACTIVE_LOW>;
            gpio_sck = <&gpio5 11 0>;
            gpio_mosi = <&gpio5 10 0>;
            cs_gpios = <&gpio5 7 0>;
            num_chipselects = <1>;
        };
    };
    sai2: sai@0202c000 {
        sound_dai_cells = <0>;
        compatible = "fsl, imx6ul-sai", "fsl, imx6sx-sai";
        reg = <0x0202c000 0x4000>;
        interrupts = <GIC_SPI 98 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
        clocks = <&clks IMX6UL_CLK_SAI2_IPG>, <&clks IMX6UL_CLK_SAI2>, <&clks IMX6UL_CLK_DUMMY>, <&clks IMX6UL_CLK_DUMMY>;
        clock_names = "bus", "mclk1", "mclk2", "mclk3";
        dmas = <&sdma 37 24 0>, <&sdma 38 24 0>;
        dma_names = "rx", "tx";
        status = "disabled";
        pinctrl_names = "default";
        pinctrl_0 = <&pinctrl_sai2>;
        assigned_clocks = <&clks IMX6UL_CLK_SAI2_SEL>, <&clks IMX6UL_CLK_SAI2>;
        assigned_clock_parents = <&clks IMX6UL_CLK_PLL4_AUDIO_DIV>;
        assigned_clock_rates = <0>, <12288000>;
    };
};
tsc: tsc@02040000 {
    compatible = "fsl, imx6ul-tsc";
    reg = <0x02040000 0x4000>, <0x0219c000 0x4000>;
    interrupts = <GIC_SPI 3 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>, <GIC_SPI 101 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
    clocks = <&clks IMX6UL_CLK_IPG>, <&clks IMX6UL_CLK_ADC2>;
    clock_names = "tsc", "adc";
    status = "okay";
    pinctrl_names = "default";
    pinctrl_0 = <&pinctrl_tsc>;
};
pwm1: pwm@02080000 {
    compatible = "fsl, imx6ul-pwm", "fsl, imx27-pwm";
    reg = <0x02080000 0x4000>;
    interrupts = <GIC_SPI 115 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
    clocks = <&clks IMX6UL_CLK_PWM1>, <&clks IMX6UL_CLK_PWM1>;
    clock_names = "ipg", "per";
}

```

Şekil 6: LCDP4DT modelinden oluşturulan DT kodunun içerisinde aips_bus düğümünün örneği

6. SONUÇ

Bu bildiride, gömülü sistemlerde kullanılan DT yazılımlarının MDE'si ve az-kodlu geliştirilmesi için LCDP4DT isimli bir yazılım platformu tanıtılmıştır. LCDP4DT grafik modelleme ve otomatik kod oluşturma özelliklerini bir araya getirerek, DT yazılım geliştiricileri için yazılım geliştirme sürecinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Özellikle web tabanlı yapısıyla erişilebilirliği ve iş birliğini artıran LCDP4DT, geliştirme süresini kısaltma ve DT geliştirme sürecini basitleştirme potansiyelini yükseltmektedir. Sunulan durum çalışması, platformun kullanım kolaylığını ve DT konfigürasyonlarının otomatik elde edilmesindeki başarımını örneklemiştir. Gelecek çalışmalarda farklı DT geliştirme senaryoları üzerinden yine LCDP4DT'nin DT uygulamalarını geliştirmeye getirdiği zaman tasarrufu ve

yine kod üretim performansı değerlendirilecektir. Mevcutta başlanan DT konfigürasyonlarından DT modellerini geri elde etme çalışmalarına devam edilerek LCDP4DT IDE'sinde tersine mühendisliğin de desteklenmesi sağlanacaktır. Böylece DT modelleri ve kodları arasında senkronizasyon oluşturulabilecek ve herhangi birinde yapılan bir değişikliğin diğerine de otomatik yansıtılması mümkün hale getirilecektir.

KAYNAKÇA

- Arslan, S. and Kardas, G. (2020) "DSML4DT: A domain-specific modeling language for device tree software", *Computers in Industry*, vol. 115, 103179, pp. 1-13, DOI: 10.1016/j.compind.2019.103179
- Arslan, S. ve Kardeş, G. (2018) "Aygıt Ağacı Yazılımlarının Modellenmesi", 12. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu (UYMS 2018), 10-12 Eylül 2018, İstanbul, Türkiye, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2201, pp. 1-12
- Arslan, S., Ozkaya, M., Kardas, G. (2023) "Modeling languages for internet of things (IoT) applications: A comparative analysis study", *Mathematics* vol. 11 no. 5, 1263
- Arslan, S., Türk, E. ve Kardeş, G. (2017) "Gömülü Sistem Yazılımlarının Geliştirilmesinde Aygıt Ağacı Yapısının Kullanılmasına Yönelik bir Çalışma", 2. Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı (UBMK 2017), 5-8 Ekim 2017, Antalya, Türkiye, IEEE Conference Publications, pp. 882-887, DOI: 10.1109/UBMK.2017.8093472
- Bock, A. C., & Frank, U. (2021). Low-code platforms: An analysis of current state and future directions. *Business & Information Systems Engineering*, 63(5), 421–437. <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00712-y>
- Brambilla, M., Cabot, J., Wimmer, M. (2022) "Model-Driven Software Engineering in Practice, Second Edition", Springer
- Cabot, J.. 2020. Positioning of the low-code movement within the field of model-driven engineering. *Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 76, pp. 1–3. DOI: 10.1145/3417990.3420210
- Devicetree Community. (2025, Mayıs 19). The Devicetree Specification. <https://www.devicetree.org/>
- Devigne, C., Brejon, J.-B., Meunier, Q.L., Wajsbürt, F., 2017. Executing secured virtual machines within a many core architecture. *Microprocess. Microsyst.* 48, 21–35
- Di Ruscio, D., Kolovos, D., de Lara, J., Pierantonio, A., Tisi, M., Wimmer, M., 2022, "Low-code development and model-driven engineering: Two sides of the same coin?", *Software and Systems Modeling*, vol. 21, pp. 437-446
- Farhat, W., Sghaier, S., Faiedh, H., Souani, C., 2019. Design of efficient embedded system for road sign recognition. *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* 10 (2),491–507
- Gioia, E., Passaro, P., Petracca, M., 2016. AMBER: an advanced gateway solution to support heterogeneous IoT technologies. *Proc. 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, 1–5.
- Kardas, G., Ciccozzi, F. and Iovino, L. (2023) "Introduction to the special issue on methods, tools and languages for model-driven engineering and low-code development", *Journal of Computer Languages*, vol. 74, 101190, pp. 1-2, DOI: 10.1016/j.cola.2022.101190
- Li, B., Bi, Y., He, Q., Ren, J., Li, Z., 2018. A low-complexity method for authoring an interactive virtual maintenance training system of hydroelectric generating equipment. *Comput. Ind.* 100, 159–172
- Likely, G., & Boyer, J. (2008). A symphony of flavours: Using the device tree to describe embedded hardware. *Linux Symposium*, 2, 27–37.
- Jassi, M., Hu, Y., Mueller-Gritschneider, D., Schlichtmann, U., 2018. Graph-grammar-based IP integration (GRIP)—an EDA tool for software-defined SoCs. *ACM Trans.Des. Autom. Electron. Syst.* 23 (3), Article 40:1-26
- Madieu, J., 2017. "The Concept of a Device Tree", 139-166. *Linux Device Drivers Development: Develop Customized Drivers for Embedded Linux*. Packt Publishing.
- Neuendorffer, S., 2018. FPGA platforms for embedded systems. In: Nicolescu, G., Mosterman, P.J. (Eds.), *Model-Based Design for Embedded Systems*. CRC Press, pp. 351–379

- Nikkel, B., 2016. NVM express drives and digital forensics. *Digit. Investig.* 16, 38–45
- NXP Semiconductor, (2023, Kasım 23). i.MX 6UltraLite EVK Board Hardware User Guide, Rev. 2
- Rodeh, O., Bacik, J., Mason, C., 2013. BTRFS: the linux B-tree filesystem. *ACM Trans.Storage* 9 (3), Article 9:1-32.
- Saritas, H. B. and Kardas, G. (2014) “A model driven architecture for the development of smart card software”, *Computer Languages, Systems & Structures*, vol. 40, no. 2, pp. 53-72, DOI: 10.1016/j.cl.2014.02.001
- Schüpbach, A., Baumann, A., Roscoe, T., Peter, S., 2012. A declarative language approach to device configuration. *ACM Trans. Comput. Syst.* 30 (1), Article 5:1-35.
- Simmonds, C. (2015). *Mastering Embedded Linux Programming* (2nd ed.). Birmingham, UK: Packt Publishing.
- Sirius-web. (2025, Mayıs 19). Documentation. Eclipse Foundation. <https://github.com/eclipse-sirius/sirius-web/tree/master/doc>
- Swaroop, K.N., Chandu, K., Gorrepotu, R., Deb, S., 2019. A health monitoring system for vital signs using IoT. *Internet Things* 5, 116–129

KETENCİK (CAMELINA SATIVA) BİYODİZELİ, NANNOCHLOROPSIS GADITANA BİYODİZELİ VE DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BAZI YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. SEDA ŞAHİN

Selcuk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technology
sedabacak@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1743-9530

CENNET SIRLI

Selcuk University, Institute of Science and Technology
kadirsirli@hotmail.com, ORCID: 0009-0005-3044-5005

Özet

Bu çalışmada, ketencik (*Camelina sativa*) biyodizeli, *Nannochloropsis gaditana* mikroalg biyodizeli ve dizel yakıtı farklı oranlarda karıştırılarak farklı yakıt numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler, içerdikleri biyodizel türü ve oranlarına göre K10D90 (%10 ketencik + %90 dizel), K20D80 (%20 ketencik + %80 dizel), K10N10D80 (%10 ketencik + %10 *Nannochloropsis* + %80 dizel), K20N20D60 (%20 ketencik + %20 *Nannochloropsis* + %60 dizel), K50N50 (%50 ketencik + %50 *Nannochloropsis*), N10D90 (%10 *Nannochloropsis* + %90 dizel) ve N20D80 (%20 *Nannochloropsis* + %80 dizel) olarak adlandırılmıştır. Her bir karışım için yoğunluk (15 °C), kinematik viskozite (40 °C) ve kalori (alt ısı) değeri (cal/g) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler, biyodizel oranındaki artışın yakıt özellikleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Özellikle ketencik biyodizelinin oranı arttıkça yakıtların yoğunluğu 807.0 g/cm³'ten 857.1 g/cm³'e, viskozitesi ise 2.95 mm²/s'den 4.98 mm²/s'ye yükselmiştir. Buna karşın, kalori değeri azalmış ve 10460 cal/g düzeyinden 9372 cal/g seviyesine kadar gerilemiştir. %10 ketencik içeren K10D90 karışımına kıyasla, %50 ketencik ve %50 mikroalg içeren K50N50 karışımında hem yoğunluk hem viskozite daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. *Nannochloropsis* biyodizelinin katkısı da benzer şekilde yoğunluk ve viskoziteyi artırmakla birlikte, ketencik biyodizeline göre daha az bir artış göstermiştir. Yalnızca mikroalg içeren karışımların alt ısı değerleri, diğer örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Özellikle N20D80 karışımı, 10711 cal/g ile tüm numuneler arasında en yüksek enerji içeriğine sahip yakıt olmuştur.

Bu bulgular, biyodizel karışımlarının fiziksel ve termal özelliklerinin, kullanılan biyodizel türüne ve oranına bağlı olarak önemli ölçüde farklılaştığını göstermektedir. Ayrıca, ketencik ve mikroalg kaynaklı biyodizellerin, petrodizel ile karıştırıldığında uyumlu ve potansiyel olarak çevre dostu alternatif yakıtlar oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. farklı biyodizel kaynaklarının birlikte kullanılmasının motor performansı ve yanma verimliliği üzerindeki etkilerinin daha ileri düzeyde araştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, ketencik, mikroalg

INVESTIGATION OF SOME FUEL PROPERTIES OF CAMELINA (CAMELINA SATIVA) BIODIESEL, NANNOCHLOROPSIS GADITANA BIODIESEL, AND DIESEL FUEL BLENDS

Abstract

In this study, various fuel blends were prepared by mixing camelina (*Camelina sativa*) biodiesel, *Nannochloropsis gaditana* microalgae biodiesel, and petroleum diesel at different volumetric ratios. The blends were designated based on the type and proportion of biodiesel used: K10D90 (10% camelina + 90% diesel), K20D80 (20% camelina + 80% diesel), K10N10D80 (10% camelina + 10% *Nannochloropsis* + 80% diesel), K20N20D60 (20% camelina + 20% *Nannochloropsis* + 60% diesel), K50N50 (50% camelina + 50% *Nannochloropsis*), N10D90 (10% *Nannochloropsis* + 90% diesel), and N20D80 (20% *Nannochloropsis* + 80% diesel). For each sample, density (at 15 °C), kinematic viscosity (at 40 °C), and lower heating value (LHV, cal/g) were measured.

The results revealed that increasing the biodiesel content significantly affected the fuel properties. In particular, as the ratio of camelina biodiesel increased, the density of the fuel rose from 807.0 g/cm³ to 857.1 g/cm³, while its viscosity increased from 2.95 mm²/s to 4.98 mm²/s. Conversely, the lower heating value decreased from 10460 cal/g to 9372 cal/g. Compared to the K10D90 blend, the K50N50 mixture, which contained 50% camelina and 50% microalgae biodiesel, exhibited notably higher density and viscosity values. The contribution of *Nannochloropsis* biodiesel also led to increases in density and viscosity, albeit to a lesser extent than camelina biodiesel. Interestingly, blends containing only microalgae biodiesel showed higher lower heating values than other samples. Among all formulations, the N20D80 blend displayed the highest energy content with a value of 10711 cal/g.

These findings indicate that the physical and thermal properties of biodiesel blends vary considerably depending on the type and proportion of biodiesel used. Furthermore, it is concluded that biodiesels derived from camelina and microalgae can be blended with petrodiesel to produce compatible and potentially environmentally friendly alternative fuels. Further research is recommended to investigate the effects of using multiple biodiesel sources on engine performance and combustion efficiency.

Keywords: Biodiesel, camelina, microalgae

1. INTRODUCTION

The increasing global demand for energy, coupled with the depletion of fossil fuel reserves and the environmental challenges associated with their use, has intensified the search for sustainable and renewable energy sources. Among these alternatives, biodiesel has emerged as a particularly promising fuel due to its non-toxic nature, biodegradability, and potential for significant reductions in greenhouse gas emissions when compared to traditional petroleum diesel (Pourkhesalian et al., 2014). Biodiesel is primarily derived from the transesterification of biologically derived oils and fats, making it a carbon-neutral option that can be produced from various feedstocks, including vegetable oils, animal fats, and waste cooking oil (Sidjabat, 2022; Vasudevan & Briggs, 2008). This versatility allows biodiesel to be compatible with existing diesel engine infrastructure, promoting a seamless transition toward more sustainable fuel options, particularly in the transportation sector (Mohite et al., 2016).

Traditional biodiesel production has predominantly relied on vegetable oils, with camelina (*Camelina sativa*) emerging as a noteworthy oilseed crop. Camelina presents several advantages, including low input requirements, drought resistance, and a high oil yield as compared to other oilseed crops (Şahin et al., 2024). The fatty acid composition of camelina oil, which consists of a high proportion of unsaturated fatty acids, can positively influence the viscosity and combustion characteristics of biodiesel, enhancing its overall performance (Balaji & Cheralathan, 2013). However, the use of pure camelina-based biodiesel does come with certain limitations, such as relatively low oxidative stability and energy content. These factors may affect engine performance negatively, particularly when biodiesel is employed in isolation without blending (Moser, 2009). Consequently, evaluating the potential of camelina-based biodiesel in conjunction with other biodiesel sources may present an effective solution to these challenges (Mohiddin et al., 2018).

In recent years, microalgae, particularly *Nannochloropsis gaditana*, have gained traction as a viable feedstock for biodiesel production. Microalgae possess several remarkable traits, including a high lipid content, rapid growth rates, and the ability to thrive in saline environments. Additionally, they do not compete with arable land for cultivation, making them an environmentally advantageous option for biofuel production (Flood et al., 2016; Su & Holmén, 2016). The biodiesel derived from microalgae typically exhibits higher energy content and lower viscosity compared to traditional plant-based biodiesels, which contributes to improved combustion efficiency and better engine performance (Liu & Chen, 2012). This positions microalgae as a promising complementary feedstock to traditional oilseed crops, potentially enhancing the overall sustainability and viability of biodiesel as an alternative fuel (Chellachamy et al., 2021).

One notable trend in biodiesel research is the increasing interest in dual or multiple feedstock blends, which have been shown to improve the fuel properties of biodiesel by integrating the strengths of various raw materials. This blending strategy can lead to more balanced formulations that optimize the physical and chemical characteristics of the final fuel product (Ng et al., 2017). For instance, blending camelina biodiesel with microalgal biodiesel may mitigate the inherent shortcomings of each feedstock while maximizing their respective advantages, thus contributing to greater flexibility and consistency in biodiesel performance (Olivetti et al., 2014). Such dual-feedstock approaches could yield biodiesel blends suitable for various climates and operational conditions, further enhancing their commercial viability and adoption.

The present study aims to comparatively analyze the physical properties, such as density and kinematic viscosity, along with thermal characteristics, specifically lower heating value, of binary and ternary fuel blends that consist of camelina oil and microalgae (*Nannochloropsis gaditana*) biodiesels mixed in various ratios with petroleum diesel. The outcomes of this research are expected to yield insights into the formulation of environmentally friendly and performance-optimized alternative fuel blends, thereby highlighting the potential of combining different biodiesel sources for improved operational efficiency and environmental impact.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Determination of fuel properties

The fuel analyses of the prepared fuels and blends were carried out in the fuel analysis laboratory established within the scope of DPT Project No. 2004/7 (Öğüt et al., 2004) and located in the Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Faculty of Agriculture, Selçuk University. In the study, biodiesels produced from camelina (*Camelina sativa*) and *Nannochloropsis gaditana* microalgae oils; kinematic viscosity, density, calorific value were determined according to the devices and working methods given in Table 1.

Table 1. Characteristics of Test Equipment

Fuel Characteristic	Devices	Measuring range	Unit	Measuring accuracy	Manufacturer	Standard
Density	Kem Kyoto DA-130N	0.0000 - 2.0000	g cm ⁻³	±0.0001	Kem Kyoto Elektronik, Japonya	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Kinematic viscosity	Koehler K23377	Ambient temperature – 150	°C	±0.01	Koehler Instrument Company, US	EN ISO 3104
Calorimeter	IKA C 200	0-40.000	J	±0.0001	IKA, UK	DIN 51900

In this study, seven different fuel samples were prepared by mixing biodiesel produced from *Camelina sativa* and *Nannochloropsis gaditana* microalgae oils with diesel fuel at different ratios. These blends are as follows:

- K10D90 (%10 Camelina + %90 diesel)
- K20D80 (%20 Camelina + %80 diesel)

- K10N10D80 (%10 Camelina + %10 Nannochloropsis + %80 diesel)
- K20N20D60 (%20 Camelina + %20 Nannochloropsis + %60 diesel)
- K50N50 (%50 Camelina + %50 Nannochloropsis)
- N10D90 (%10 Nannochloropsis + %90 diesel)
- N20D80 (%20 Nannochloropsis + %80 diesel)

The overall appearances of these fuels are depicted in Figure 1.

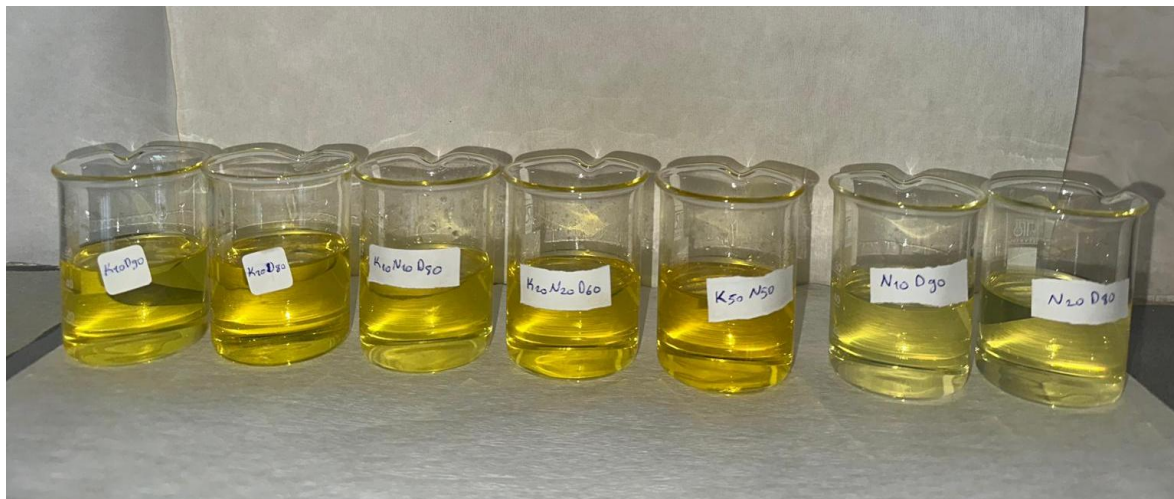


Figure 1. Prepared Biodiesels and Fuel Blends

Transesterification method was applied in biodiesel production. In this process, the oil sample was heated to 55 °C and 3.5 g/L sodium hydroxide (NaOH) with 20% methanol was added. The reaction was carried out with stirring at constant temperature for 60 min followed by 8 h for glycerol separation. The methyl ester produced was purified from alcohol by stirring at 70 °C for 1 hour. Washing was carried out by humidification with distilled water heated to 50 °C, followed by drying at 100 °C for 2 hours to obtain the final biodiesel (Balci, 2017; Eryilmaz et al., 2022; Şahin, 2021)

3. RESULTS and DISCUSSION

In this study, the physical and thermal properties of fuel blends obtained by blending biodiesel produced from camelina and microalgae (*Nannochloropsis gaditana*) oils with diesel fuel at different ratios were evaluated. Experimental data showed that the increase in biodiesel ratio caused significant changes especially in density, viscosity and calorific value (Tablo 2).

Table 2. Fuel Properties of Blend Fuels

Fuel Mixture	Density (g/cm ³)	Viscosity (mm ² /s)	Calorific value (cal/g)
K10D90	807.0	2.95	10460
K20D80	822.3	3.47	10128
K10N10D80	823.1	3.58	10291
K20N20D60	843.7	4.12	9866
K50N50	857.1	4.98	9372

Fuel Mixture	Density (g/cm ³)	Viscosity (mm ² /s)	Calorific value (cal/g)
N10D90	810.2	3.15	10588
N20D80	825.4	3.62	10711

3.1. Density

The investigation of fuel density, measured at 15 °C, reveals a notable trend in biodiesel blends, where the density increases in correlation with higher biodiesel content. For instance, the density in the K10D90 blend was measured at 807.0 g/cm³, while this value escalated to 857.1 g/cm³ in the K50N50 blend. This phenomenon can be primarily attributed to the inherently higher density of biodiesel when compared to traditional diesel fuels. Specifically, camelina biodiesel demonstrates a more pronounced effect on the density increase within these blends. Furthermore, in blends containing microalgae additives (e.g., N20D80), the increase in density was limited yet remained above that of pure diesel fuel. This observation is consistent with findings in similar studies, which underscore the influence of fatty acid profiles on the density variations of different biodiesel types (Wahyudi et al., 2023).

3.2 Kinematic Viscosity

Kinematic viscosity, measured at 40 °C, provides critical insights into the fluidity properties of the various fuel blends. The results indicate an increase in viscosity with rising biodiesel proportions, moving from 2.95 mm²/s in the K10D90 blend to 4.98 mm²/s in the K50N50 blend. This increase is linked to the polymeric characteristics inherent in biodiesel, which enhance viscosity resistance when mixed with diesel fuels. Additionally, the increment in viscosity for blends containing microalgae additives, such as N10D90 and N20D80, was notably less pronounced. This disparity can be ascribed to the comparatively lower viscosity of microalgae oils than that of camelina biodiesel (Şahin & Yilmaz, 2024).

3.3 Caloric (Lower Heating) Value

The energy content of each fuel blend was assessed through lower heating value measures, revealing a general decline in energy value as the biodiesel content rose. An exception was noted in the blends incorporating microalgae additives; for example, the N20D80 blend exhibited the highest energy content at 10711 cal/g. This was attributed to the elevated presence of unsaturated fatty acids and the energy-dense nature of microalgae oils. Conversely, an increase in camelina content led to a reduction in calorific value, falling to 9372 cal/g for the K50N50 blend. This decrease can be explained by the lower energy density of biodiesel containing higher oxygen levels compared to traditional diesel fuels (Pham et al., 2018)

Overall, the analysis indicates that camelina biodiesel tends to contribute to increased density and viscosity, while microalgae biodiesel enhances the thermal energy capability, suggesting the potential benefits of employing dual-source biodiesel blends to achieve balanced fuel properties (Hassan et al., 2018).

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, the physical and thermal properties of the fuels obtained by blending camelina and *Nannochloropsis gaditana* microalgae biodiesel with diesel at different ratios were comparatively evaluated. According to the findings obtained:

- The increase in biodiesel ratio caused significant increases in density and viscosity.
- Calorific value generally showed a decreasing trend with increasing biodiesel content, but the energy content of microalgae biodiesel was higher than that of camelina.

- The K50N50 blend reached the highest values in terms of viscosity and density, while the N20D80 blend presented the highest energy content.

These results show that both physical compatibility and energy efficiency can be balanced by using different biodiesel types together. However, more extensive research is needed to include criteria such as engine performance, combustion characteristics and emissions.

REFERENCES

- Balaji, G., & Cheralathan, M. (2013). Potential of Various Sources for Biodiesel Production. *Energy Sources Part a Recovery Utilization and Environmental Effects*, 35(9), 831-839. <https://doi.org/10.1080/15567036.2011.594856>
- Balci, A. B. *Menengiç yağından elde edilen biyodizelin ve karışımlarının yakıt özelliklerinin incelenmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Balci, A. B. (2017). *Menengiç yağından elde edilen biyodizelin ve karışımlarının yakıt özelliklerinin incelenmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Chellachamy, A., Balamurugan, C., & Duraisamy, G. (2021). Application of Genetic Algorithm for Increasing the Utilization of Poor-Quality Biodiesel Through Blending. *Journal of Oleo Science*, 70(8), 1039-1050. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20296>
- Eryilmaz, T., Şahin, S., Ertuğrul, M., & Çelik, S. A. (2022). Ketencik [Camelina Sativa (L.) Crantz] Yağı Biyodizelinin ve Karışım Yakıtlarının Fizikokimyasal Özelliklerinin Araştırılması. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 10(2), 287-300.
- Flood, M. E., Connolly, M. P., Comiskey, M. C., & Hupp, A. M. (2016). Evaluation of Single and Multi-Feedstock Biodiesel – Diesel Blends Using GCMS and Chemometric Methods. *Fuel*, 186, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.069>
- Hassan, U., Al-Zubaidi, I., & Ibrahim, H. (2018). The Effect of Off-Spec Canola Biodiesel Blending on Fuel Properties for Cold Weather Applications. *Chemengineering*, 2(3), 30. <https://doi.org/10.3390/chemengineering2030030>
- Liu, G. R., & Chen, G. Y. (2012). Pilot Plant of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil. *Advanced Materials Research*, 550-553, 687-692. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.550-553.687>
- Mohiddin, M. N. B., Saleh, A. A., Reddy, A. N. R., & Hamdan, S. (2018). A Study on Chicken Fat as an Alternative Feedstock: Biodiesel Production, Fuel Characterisation, and Diesel Engine Performance Analysis. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15(3), 5535-5546. <https://doi.org/10.15282/ijame.15.3.2018.10.0425>
- Mohite, S., Kumar, S., & Maji, S. (2016). Performance Characteristics of Mix Oil Biodiesel Blends With Smoke Emissions. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(2), 163-170. <https://doi.org/10.14710/ijred.5.2.163-170>
- Moser, B. R. (2009). Biodiesel Production, Properties, and Feedstocks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 45(3), 229-266. <https://doi.org/10.1007/s11627-009-9204-z>
- Ng, J.-H., Teh, J. X., Wong, K. Y., Wu, K., & Chong, C. T. (2017). A Techno-Economical and Automotive Emissions Impact Study of Global Biodiesel Usage in Diesel Engines. *Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia*, 1(2), 124-136. <https://doi.org/10.56381/jsaem.v1i2.14>
- Olivetti, E., Gülşen, E., Malça, J., Castanheira, É. G., Freire, F., Dias, L. C., & Kirchain, R. (2014). Impact of Policy on Greenhouse Gas Emissions and Economics of Biodiesel Production. *Environmental Science & Technology*, 48(13), 7642-7650. <https://doi.org/10.1021/es405410u>
- Öğüt, H., Akınerdem, F., Pehlivan, E., Aydın, M. E., & Oğuz, H. (2004). Türkiye’de bazı yağ bitkilerinden biyodizel üretim prosesleri ve dizel motorlarda kullanımının tarım, çevre, gıda, kimya ve teknolojik boyutlarıyla araştırılması :DPT Proje No:2004/7 Biyoenerji 2004 Sempozyumu, İzmir.
- Pham, M. T., Hoang, A. T., Tuấn, L. A., Al-Tawaha, A. R., Dong, V. H., & Le, V. V. (2018). Measurement and Prediction of the Density and Viscosity of Biodiesel Blends. *International Journal of Technology*, 9(5), 1015. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i5.1950>
- Pourkhesalian, A. M., Stevanović, S., Salimi, F., Rahman, M. M., Wang, H., Pham, P. X., . . . Ristovski, Z. (2014). Influence of Fuel Molecular Structure on the Volatility and Oxidative Potential of

- Biodiesel Particulate Matter. *Environmental Science & Technology*, 48(21), 12577-12585. <https://doi.org/10.1021/es503160m>
- Sidjabat, O. (2022). Influence of Feedstocks in Biodiesel Production on Its Physico-Chemical Properties of Product : A Review. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 36(3), 105-122. <https://doi.org/10.29017/scog.36.3.767>
- Su, F., & Holmén, B. A. (2016). Modeling Criteria and Air Toxic Pollutants in Light-Duty Biodiesel Exhaust. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2570(1), 87-96. <https://doi.org/10.3141/2570-10>
- Şahin, S. (2021). *Motorin ve Aspir Biyodizeli Karışımlarına İlave Edilen Bazı Katkı Maddelerinin Yakıt Özellikleri, Motor Performansı ve Emisyon Değerlerine Etkilerinin Belirlenmesi*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Şahin, S., Ersoy, R., & Mengeş, H. O. (2024). Determination of Some Fuel Properties of Binary Biodiesel and Binary Biodiesel – Diesel Blend Fuels Obtained From Camelina Oil and Waste Frying Oils. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.18245/ijaet.1374662>
- Şahin, S., & Yilmaz, F. B. (2024). Physicochemical Characterization and Butanol Impact on Canola and Waste Cooking Oil Biodiesels: A Comparative Analysis With Binary Biodiesel Blends. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(2), 221-227. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i2.221-227.6569>
- Vasudevan, P. T., & Briggs, M. (2008). Biodiesel Production—current State of the Art and Challenges. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35(5). <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0312-2>
- Wahyudi, W., Nadjib, M., & Apriyanto, A. (2023). Correlation Between Physical Properties and Specific Fuel Consumption in Jatropha -Used Cooking Oil Biodiesel Mixtures. *Semesta Teknika*, 26(2), 148-158. <https://doi.org/10.18196/st.v26i2.20163>